

Algoritmi per il telerilevamento

Marco Gonnelli (*), Giovanni Spaccavento (**), Fabio Sarti (***)

(*) Accademia Navale M.M. di Livorno, Direzione Studi, Dipartimento Capitanerie di Porto
Viale Italia 72, 57127 Livorno, Tel. 0586.238765, marco.gonnelli@marina.difesa.it

(**) Accademia Navale M.M. di Livorno, Direzione Studi, Dipartimento Capitanerie di Porto
Viale Italia 72, 57127 Livorno, Tel. 0586.238765, giovanni-spaccavento@marina.difesa.it

(***) Accademia Navale M.M. di Livorno, Direzione Studi, Dipartimento Capitanerie di Porto
Viale Italia 72, 57127 Livorno, Tel. 0586.238366, fabio-sarti@marina.difesa.it

Riassunto

Algoritmi per la correzione di immagini affette da errori imputabili a deriva termica dei corpi neri in sensore Sensytech. Tecnica di correzione basata sull'analisi dei file ancillari prodotti dallo scanner multispettrale. Riduzione del disturbo presente nelle righe di scansione con un algoritmo basato sull'attenuazione di picchi in frequenza successivamente alla segmentazione terra-mare automatica. Strumenti per la corretta rappresentazione dell'immagine tele rilevata tramite algoritmi di correzione geometrica across ed along track che tengano conto degli elementi del moto del vettore. Pianificazione di missione basata su algoritmi di previsione del sunglint.

Abstract

Remote sensed images restoration and enhancement algorithms. Correction technique of errors due to thermal drift of the sensor Sensytech black bodies based on the analysis of ancillary files produced by the multispectral scanner. Reduction of the noise present in the scan lines with an algorithm based on attenuation of peaks in frequency after the land-sea automatic segmentation. Tools for geometric correction algorithms across and along track, taking into account the elements of motion of the carrier. Scheduling algorithms based on mission estimates of sunglint

Premessa

Nelle acque comprese tra il golfo di Cecina e Monterosso, nei giorni 7 e 8 luglio 2010, è stata condotta una esercitazione complessa di telerilevamento con finalità didattico scientifiche. Tale attività si inserisce nel piano di studi della Laurea Specialistica in "Scienze del governo e dell'amministrazione del mare" quale esperienza di "gestione e tutela delle risorse marine" e rientra, perciò, a pieno titolo nella formazione che gli Ufficiali del Corpo delle Capitanerie di Porto, conseguono presso l'Accademia Navale.

I Guardiamarina intervenuti hanno partecipato concretamente ad una attività istituzionale che scaturisce dall'ampliamento dei compiti del Corpo previsto dal D.lgs 152/2006.

Il cosiddetto "Testo Unico dell'Ambiente", infatti, agli artt. 135-C.2, 195-C.4 e 296 -C.9, estende le competenze storiche della Guardia Costiera attribuendole il mandato di sorvegliare ed accertare quegli atti illeciti dai quali possano derivare danni o situazioni di pericolo per l'ambiente marino e costiero. Tale indirizzo, rafforzato dalle disposizioni del D.Lgs n. 202/2007 con il quale è stata innovata la normativa finalizzata alla lotta agli inquinamenti marini derivanti da navi, è recepito nei Piani Triennali 2007-2009 e 2010-2012 per l'implementazione delle linee di attività svolte dal Corpo.

In tale ambito, l'esercitazione condotta, rappresenta un prototipo di missione a supporto delle autorità marittime periferiche, con potenziali numerosi risvolti operativi e di Polizia Giudiziaria finalizzata alla tutela dell'ambiente.

Nell'attività istituzionale dell'Accademia Navale rientrano lo studio e la ricerca finalizzati al mi-

glioramento delle competenze tecnico-scientifiche a disposizione del Corpo. Ciò si concretizza nell'individuazione di tecnologie per l'assolvimento dei compiti di istituto, nella collaborazione con istituzioni scientifiche, nella partecipazione ad eventi culturali e scientifici e nel consolidamento delle esperienze condotte tramite la redazione di guide operative.

Raggiunto il primario scopo di formazione e addestramento del personale coinvolto, la missione ha offerto i dati raccolti all'analisi del Laboratorio di Telerilevamento dell'Accademia Navale, sostenendo, così, le accennate attività di miglioramento tecnico-scientifico.

I dati acquisiti

Mentre il team a terra effettuava misure spettro radiometriche in siti costieri e l'unità navale scientifica CP406 Scialoja, dotata di sonda multiparametrica, raccoglieva i dati di verità "in situ" e prelevava campioni delle acque, l'aeromobile Manta02, equipaggiato con uno scanner multispettrale Sensytech ATM 1268-E effettuava il sorvolo ed il contestuale rilievo delle undici tratte in cui era stata suddivisa la costa interessata dalla missione. Le scansioni, acquisite con il sensore CZCS e strutturate in 11 bande spettrali comprese tra il visibile e l'infrarosso termico sono risultate affette da errori, imputati a deriva dei corpi neri di riferimento nelle bande dell'infrarosso termico, oltre che deteriorate da rumore interno ad ogni singola riga di scansione attribuito a radiointerferenze raccolte dai cablaggi. Al fine di ridurre gli effetti dell'instabilità dei corpi neri e recuperare l'informazione contenuta nei dati è stato sviluppata una tecnica di correzione basata sull'analisi dei file ancillari prodotti dallo scanner multispettrale. Ciò ha condotto alla realizzazione di un algoritmo di individuazione e compensazione della deriva dei riferimenti.

Il rumore presente nelle righe di scansione è stato ridotto con un altro algoritmo, sviluppato ad hoc, in grado sopprimere il contributo spettrale delle porzioni di terra riprese durante la scansione in modo da rendere più affidabile la riduzione del contributo di picchi in frequenza. L'attività svolta nel laboratorio di telerilevamento richiede frequentemente correzioni geometriche delle immagini trattate, tuttavia, non disponendo in loco del software opportuno, queste devono essere inviate, attraverso la via gerarchica a quei comandi (Centrale operativa presso il Comando Generale, II Nucleo Aereo di Catania e III Nucleo Aereo di Pescara) dotati delle licenze d'uso di tale software.

Una simile procedura aggraverebbe i comandi cooperanti con attività che esulano dai compiti operativi oltre a rallentare gli studi svolti nel laboratorio. Le licenze d'uso, che non prevedono il rilascio del codice sorgente, impediscono di conoscere con esattezza quali operazioni siano effettuate sui dati e, di conseguenza, se vi sia una funzione associante il dato restituito alla misura rilevata dal sensore. Per tali motivi l'insieme di strumenti per la corretta rappresentazione dell'immagine telerilevata è stato completato con algoritmi di correzione geometrica across ed along track che tengano conto degli elementi del moto del vettore.

L'esigenza di una agevole ed efficace pianificazione di missione ha condotto all'implementazione di un algoritmo di previsione della presenza di sunglint lungo le tratte di sorvolo. Questo strumento riceverà ulteriore impiego in software dedicati al restauro di immagini compromesse da sovrapposizioni derivanti dalla geometria di osservazione.

Individuazione e compensazione della deriva dei corpi neri di riferimento

Il malfunzionamento del sottosistema di controllo della temperatura dei corpi neri di riferimento ha causato forti variazioni di luminosità nelle bande dell'infrarosso termico delle immagini telerilevate. Queste mostravano larghe strisce trasversali alla direttrice di volo che rendevano pressoché inutilizzabili vaste porzioni delle scansioni.

Canale	Sensore ATM Banda (μm)	Sensore CZCS Banda (μm)
1	0,42 – 0,45	0,43 – 0,45
2	0,45 – 0,52	0,48 – 0,50
3	0,52 – 0,60	0,50 – 0,53
4	0,60 – 0,62	0,54 – 0,57
5	0,63 – 0,69	0,58 – 0,63
6	0,69 – 0,75	0,63 – 0,70
7	0,76 – 0,90	0,71 – 0,81
8	0,91 – 1,05	0,83 – 0,94
9	1,55 – 1,75	
10	2,08 – 2,35	
11	8,50 – 14,00 (basso guadagno)	
12	8,50 – 14,00 (alto guadagno)	

*Tabella 1 – Risoluzione spettrale
Sensytech 1268 ATM-E.*

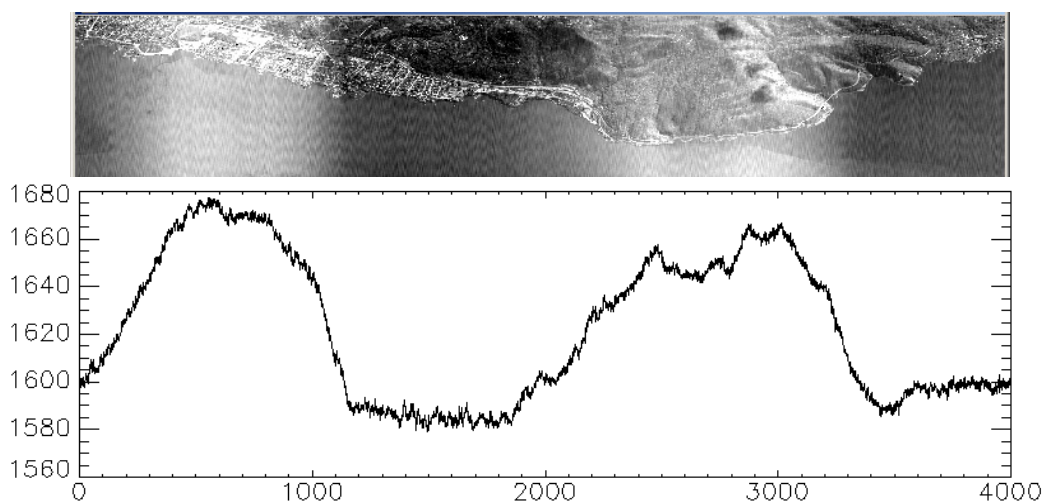


*Figura 2 – Immagine degradata e valore medio delle linee di scansione
(l'immagine è stata ruotata di 90°).*

L'analisi dei trend eventualmente presenti nei file ancillari ha mostrato che i corpi neri di riferimento avevano sofferto di instabilità nel controllo della temperatura, e che l'andamento era compatibile con i disturbi oggetto di studio.

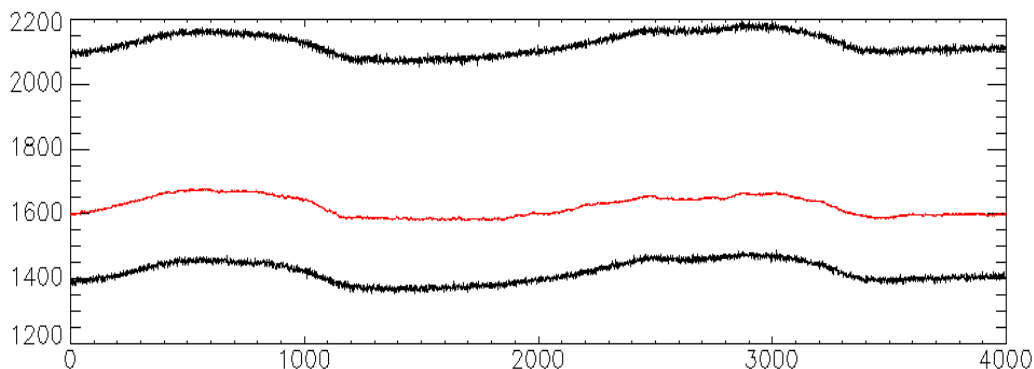


*Figura 3 – Confronto tra valori (DN) di riferimento assunti dai corpi neri (in nero)
e il valore medio delle linee di scansione (in rosso).*

Un primo tentativo di intervento è stato condotto con l'intenzione di sostituire il riferimento del corpo nero più freddo con il suo valore minimo e di decrementare i campioni di ogni linea di scansione di una quantità pari alla differenza tra il nuovo riferimento ed il corrispondente precedente valore di riferimento. Tuttavia tale approccio non è risultato soddisfacente in quanto i contributi in alta

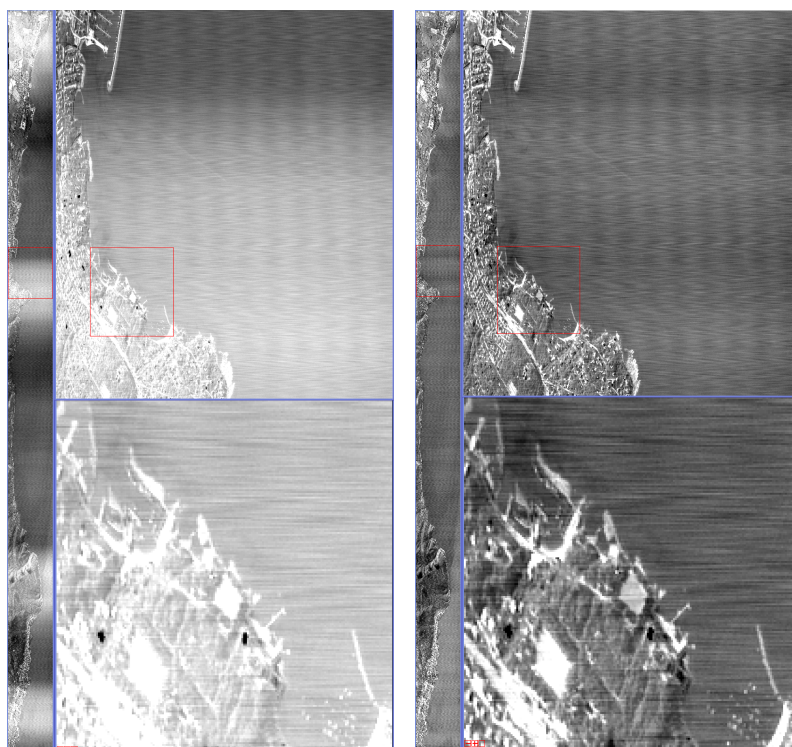


Figura 4 – Confronto tra una immagine degradata ed una restaurata.

rimosso riga per riga, lo scostamento in bassa frequenza del riferimento dal minimo dei riferimenti, preservando, gli altri contributi spettrali. Le immagini, altrimenti inutilizzabili, così restaurate hanno restituito informazioni, di buona qualità e nuovamente impiegabili ai fini dell'esercitazione.

Attenuazione di rumore previa individuazione di picchi spettrali

Le scansioni effettuate nel corso delle più recenti missioni del sensore multispettrale Sensytech ATM 1268-E mostrano un progressivo deterioramento della qualità dei dati rilevati nelle bande dell'infrarosso termico a causa di un rumore che appare come una "marezzatura" del territorio inquadrato. Tale disturbo, nelle aree di ripresa più omogenee (ad esempio gli specchi acquei), è particolarmente evidente all'occhio dell'osservatore che lo percepisce come forte discontinuità tra le linee di scansione adiacenti. Ciò, in un primo tempo, ha condotto i tentativi di riduzione del rumore a concentrarsi, infruttuosamente, nella ricerca di componenti spettrali nelle alte frequenze. Tuttavia il progressivo aggravarsi del fenomeno e i conseguenti interventi di ricerca del guasto nell'apparato hanno spostato l'attenzione verso il deterioramento dei cablaggi rendendo plausibile l'ipotesi che in queste condizioni essi raccogliessero radio interferenze. L'analisi spettrale dell'immagine si è, conseguentemente, focalizzata sulle singole righe. Sebbene la presenza di elementi marini e terrestri determinasse una varietà di contributi in un ampio intervallo di frequenze, una volta effettuata la segmentazione mare/terra e condotta l'analisi sulle sole aree acquatiche, è stato agevole individuare alcuni picchi caratteristici, riconducibili a portanti radio, il cui contributo è stato ridotto con filtri stoppa banda. L'algoritmo sviluppato si articola su più passi, il primo dei quali consiste nella accennata segmentazione mare/terra. Una volta disponibile la porzione marina dell'immagine offre un ottima base per condurre una analisi in frequenza su ogni linea di scansione. Per ciascuna di queste il contributo in continua viene eliminato passando da una rappresentazione dei campioni nello spa-

frequenza del riferimento, normalmente presenti, avrebbero originato decrementi a loro volta "rumorosi", affliggendo in maniera non determinabile e non uniforme le linee di scansione trattate.

La necessaria separazione dell'informazione legata alla deriva dei riferimenti da ogni altro eventuale segnale è stata conseguita ipotizzando che i fenomeni di deriva dei riferimenti fossero gli unici presenti nelle basse frequenze e che fossero quasi completamente descritti al loro interno. Pertanto con un filtro passabasso è stato evidenziato e poi

zio dei numeri naturali a quello degli interi e centrando la media dei campioni sul valore zero. Successivamente i picchi evidenziati da una FFT sono impiegati per sintonizzare un filtro stoppa banda centrato sulle frequenze così individuate.

Le linee di scansione filtrate restituiscono un'immagine privata dell'informazione contenuta nelle sole frequenze "disturbate".

Al momento attuale assume particolare rilevanza, ai fini del risultato finale, la sub-attività di segmentazione, in quanto questa permette di depurare lo spettro oggetto di successiva analisi da tutti i contributi derivanti dalle forti variazioni del paesaggio costiero.

La scelta sin qui adottata di impiegare a tale fine il rapporto tra i dati rilevati nell'infrarosso vicino (banda 8) e quelli al limite dell'ultravioletto (banda 2), successivamente applicare un filtro mediano e costruire una maschera a soglia, non è sufficientemente robusta nei tratti costieri più in ombra. Gli artefatti, conseguenti all'analisi in frequenza inficiata da una errata segmentazione, saranno ridotti ricorrendo ad una migliore distinzione terra/mare.

Correzione geometrica

Come accennato in premessa la necessità del laboratorio di procedere frequentemente a correzioni geometriche delle

scansioni ha condotto il personale ad implementare un algoritmo che affrontasse tale questione. Nonostante ciò si riduca a determinare le caratteristiche dell'osservazione e ad applicare le conseguenti trasformazioni (determinate dalle geometrie proiettive), sono state impiegate alcune accortezze che possono costituire elemento di interesse. In particolare nell'eseguire la correzione si è tenuto conto non solo della posizione del sensore e dei suoi dati di targa, ma anche degli elementi del moto del vettore.

Il problema della correzione è stato scisso in due sottoproblemi: la correzione trasversale (*across-track*) e quella longitudinale (*along-track*), avendo queste origini ed effetti differenti sui campioni.

La correzione trasversale mira a compensare l'effetto "panoramico" che si determina quando da quote elevate si osservano porzioni della scena che da prossime al Nadir si allontanano, via via, verso l'orizzonte. Poiché i campioni raccolti durante la scansione sottendono ad un angolo (IFOV *instantaneous field of view*) costante, verso le estremità delle linee di scansione l'area inquadrata per campione è maggiore che non al centro; gli oggetti prossimi al nadir del sensore (al centro della linea di scansione) appaiono più grandi rispetto a quelli vicini al limite del campo di vista (FOV *field of view*).

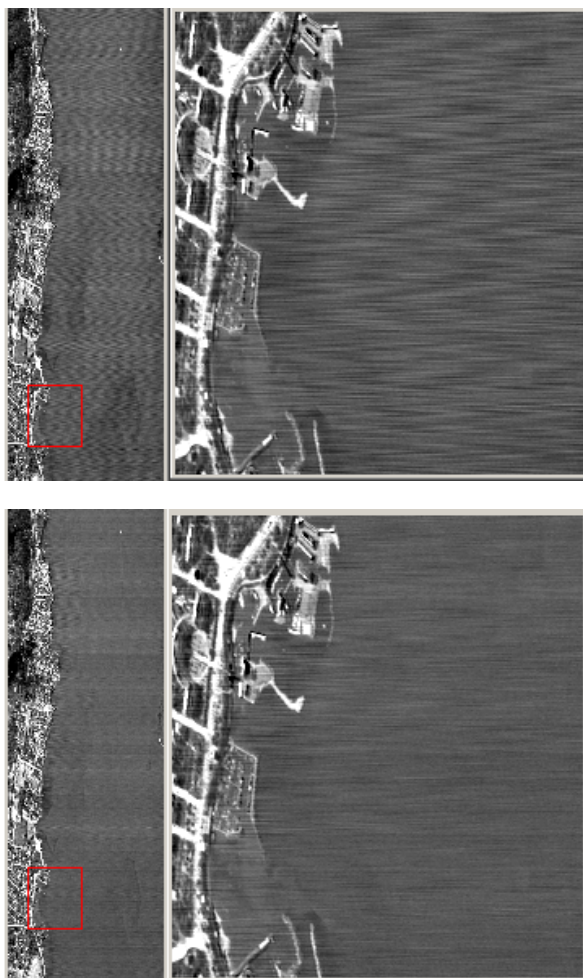


Figura 5 – Confronto tra una immagine "marezzata" ed una restaurata.

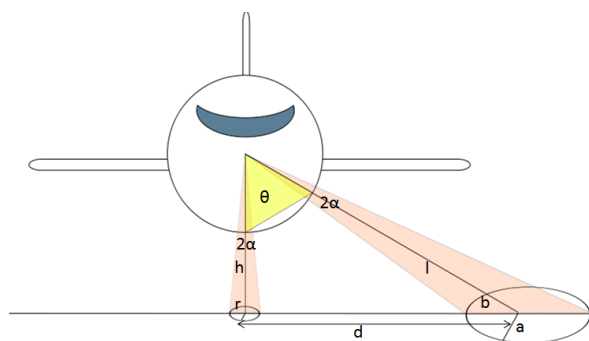


Figura 6 – Effetto panoramico.

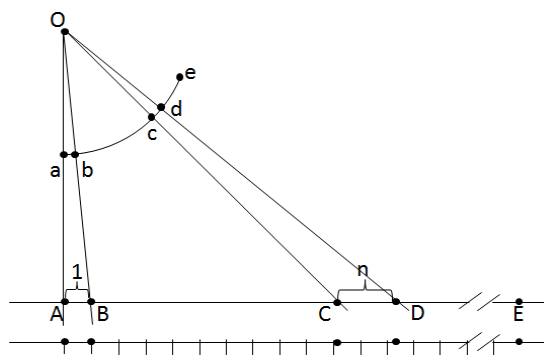


Figura 7 – Schema di distribuzione dei campioni.

ricampionamento si consideri la fig.7. Il sensore divide uniformemente l'arco ae (corrispondente alla metà del FOV e pertanto ampio θ), in modo da raccogliere, sotto forma di radiazione em , l'informazione proveniente dal suolo. Ogni settore, così determinato, dell'arco ae pur avendo ampiezza costante (e pari a 2α) individuerà un segmento di dimensioni crescenti; in particolare, assumendo come unità di misura il segmento AB , si avrà che i punti C e D , estremi del segmento n -esimo, saranno individuati dalle ascisse:

$$x_n = \frac{h \tan(\theta) \sin(\alpha)}{\cos(\alpha)} \quad [7]$$

Costruita in tal modo la griglia di ricampionamento, si è deciso di implementare un algoritmo che permettesse all'utente finale di scegliere tra una interpolazione lineare o ai minimi quadrati.

Il problema della correzione longitudinale (along-track) nasce dal fatto che la ripresa della scena non è istantanea, al contrario l'immagine viene costruita riga per riga mentre il vettore effettua il sorvolo dell'area. Come visto, la distorsione panoramica fa sì che ai pixel dell'immagine corrispondano aree di dimensioni non uniformi, per tale motivo, tollerando scansioni parzialmente sovrapposte, ma non aree scoperte, il sensore viene impiegato in modo che si generi una sovrascansione della zona ripresa. Il vettore inoltre procede con velocità non perfettamente costante, tuttavia il sistema ne registra la velocità istantanea e consente, quindi, di determinare l'estensione in senso longitudinale di ogni area campionata. Anche in questo caso la correzione geometrica viene effettuata ricampionando i dati su una griglia non uniforme, i cui punti sono determinati dal tratto effettivamente percorso dal vettore nel tempo del ciclo di scansione. L'ascissa del punto n -esimo sarà perciò pari all'ascissa del punto precedente incrementata del prodotto della velocità istantanea al suolo per il tempo di scansione.

Le relazioni intercorrenti tra le grandezze evidenziate in Fig.6 sono tali che:

$$r = h \sin(\alpha) \quad [1]$$

$$\alpha = \theta \sin(\alpha) \quad [2]$$

$$l = h \sec(\theta) \quad [3]$$

$$d = h \tan(\theta) \quad [4]$$

Da [2] e [3] discende:

$$\alpha = h \sec(\theta) \sin(\alpha) \quad [5]$$

Con ragionamenti analoghi si ottiene:

$$b \quad [6]$$

Dove con α si indica la semiapertura dell'IFOV, con θ la semiapertura del FOV e con h la quota del sensore. Mentre al nadir l'IFOV determina un cono di osservazione ortogonale al terreno e pertanto raccoglie informazioni da un'area circolare con raggio r (tanto più piccolo quanto migliore è la risoluzione spaziale del sensore), i coni di osservazione prossimi ai limiti del FOV intercettano il suolo generando ellissi con assi (maggiore e minore) più grandi di r . Al fine di ricostruire una immagine in cui oggetti delle stesse dimensioni siano rappresentati con lo stesso numero di pixel è necessario effettuare un ricampionamento su una griglia irregolare (cioè con punti di campionamento non uniformemente distribuiti). Per determinare la griglia di

I risultati ottenuti dall'applicazione dell'algoritmo complessivo di correzione geometrica sui dati sperimentali sono ritenuti soddisfacenti ed il confronto delle riprese effettuate con mappe virtuali (Google Earth) ne ha confermato la qualità.

Previsione di condizioni di sunglint

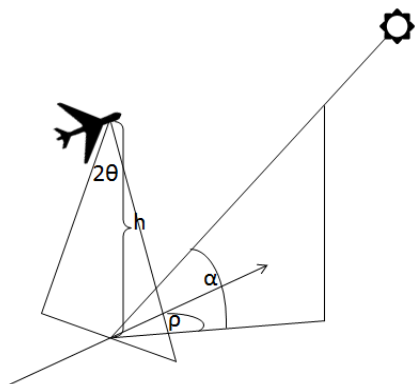


Figura 8 – Geometria di osservazione.

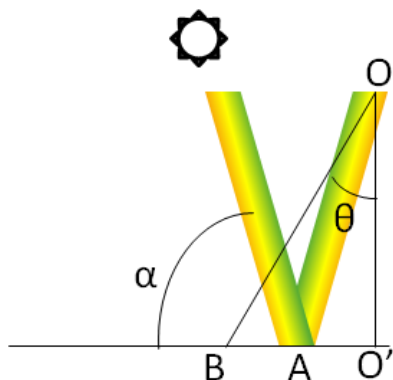


Figura 9 – Sole al traverso.

$$\alpha = \arctan\left(\frac{h}{b}\right) \quad [10]$$

Pertanto, l'indesiderata condizione

Può essere controllata verificando che

$$\frac{h}{b} = \frac{h}{b} \quad [11]$$

Rispetti i vincoli imposti da [11].

Per facilitare tale compito agli operatori incaricati della pianificazione, è stato realizzato un algoritmo che, noti data e luogo (longitudine e latitudine) approssimativi della missione, computa le posizioni in elevazione ed azimut assunti dal Sole nell'arco della giornata e tabula 5 valori assunti dal rapporto [12] lungo le direttrici possibili nell'arco della giornata.

In condizioni di ripresa particolari, superfici molto riflettenti, come quelle delle distese marine, inviano in direzione del sensore un quantitativo di radiazione elettromagnetica tanto elevato da saturarne la dinamica.

Questa condizione, nota come sunglint affligge le riprese causando, quando non l'imbiancamento dell'immagine conseguente alla saturazione dei sensori, un forte disturbo.

Considerando la superficie del mare come un insieme di elementi riflettenti, ciascuno dei quali inclinato in maniera lievemente diversa da quelli circostanti, si può facilmente intuire come anche condizioni approssimanti quella rappresentata in figura 9 possano condurre all'abbagliamento del sensore.

Al fine di ottenere riprese il più possibile libere da questo fenomeno, occorre pianificare la missione di volo facendo in modo che il punto A della figura 9 cada il più lontano possibile dal segmento BO'.

I parametri disponibili per variare la geometria di osservazione corrispondono agli angoli α e ρ , a loro volta determinati da data, ora e direttrice della tratta.

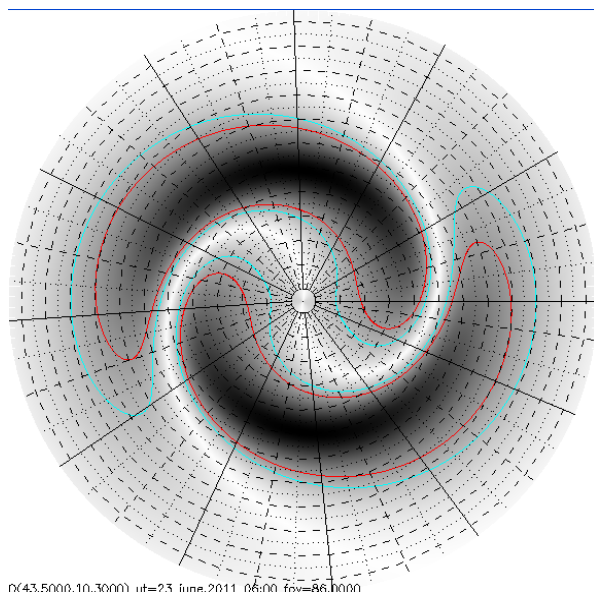
Generalizzando la condizione illustrata in figura 9, in cui si ha che, detta a la misura di AO' e b la misura di BO',

[8]

[9]

a tutti quei casi in cui ρ non sia un angolo retto si ottiene che:

[11]



O(43,5000,10,3000) ut=23 June,2011 06:00 fov=86.0000

Figura 10 – Previsione del sunglint.

Mentre l'attività condotta in laboratorio è caratterizzata dall'approfondimento delle analisi condotte sui dati telerilevati (pertanto scarsamente ripetitiva), i Comandi Operativi necessitano di elaborare in maniera standard e continua una quantità di dati provenienti dalle missioni. Per tale motivo, oltre ad avere sviluppato i precedenti algoritmi, il laboratorio ha avuto cura di approntare piccole utility che consentissero una facile organizzazione delle elaborazioni in procedure batch. Tutti gli strumenti sviluppati sono stati dotati di una interfaccia a linea di comando che permette di organizzare un flusso sequenziale di operazioni. In tal modo il personale operativo stabilisce quali insiemi di dati debbano essere analizzati, secondo procedure, redatte dal personale di laboratorio, che a loro volta impiegano algoritmi già disponibili o sviluppati ad hoc da programmatori del laboratorio o, eventualmente, esterni.

Bibliografia

- Nicolas Reul, Joseph Tenerelli, Bertrand Chapron, and Philippe Waldeufel, *Modeling Sun Glitter at L-Band for Sea Surface Salinity Remote Sensing With SMOS*, IEEE transactions on geoscience and remote sensing, vol. 45, no. 7, July 2007.
- Pietro A. Brivio, Giovanni Lechi, Eugenio Zilioli, *Principi e metodi di telerilevamento*, 1ªed.(2006), CittaStudi Edizioni .
- AA.VV. a cura di A. Argentieri, A.Fianchini, L.Rossi, *Telerilevamento ed ecologia marina: dal problema all'applicazione*, (2006) ESA/ESRIN.
- William K. Pratt, *Digital Image Processing*, 2ªed.(1991), Wiley - Interscience Publication.

Il risultato viene presentato in forma di diagramma polare ponendo in evidenza le condizioni che sicuramente genereranno sunglint e quelle in cui saranno riscontrabili effetti di minore entità.

L'operatore potrà in tal modo verificare quali siano le rotte o le finestre temporali entro cui condurre efficacemente il sorvolo.

Per questo algoritmo è previsto un futuro ulteriore impiego all'interno di un software dedicato al restauro di immagini affette dal sunglint. In questo caso l'indice, calcolato come sopra descritto, concorrerà a quantificare l'eccesso di radiazione ricevuta dal sensore nelle porzioni di immagine, purché non completamente saturate.

L'automazione dell'elaborazione

Sensori per il telerilevamento: Confronto sui principi di funzionamento, sui limiti degli apparati e sulle modalità di impiego

Marco Gonnelli (*), Giovanni Spaccavento (**), Fabio Sarti (***)

(*) Accademia Navale M.M. di Livorno, Direzione Studi, Dipartimento Capitanerie di Porto
Viale Italia 72, 57127 Livorno, Tel. 0586.238765, marco.gonnelli@marina.difesa.it

(**) Accademia Navale M.M. di Livorno, Direzione Studi, Dipartimento Capitanerie di Porto
Viale Italia 72, 57127 Livorno, Tel. 0586.238765, giovanni-spaccavento@marina.difesa.it

(***) Accademia Navale M.M. di Livorno, Direzione Studi, Dipartimento Capitanerie di Porto
Viale Italia 72, 57127 Livorno, Tel. 0586.238663, fabio-sarti@marina.difesa.it

Riassunto

Evoluzione dei mezzi, della sensoristica e della formazione operata dal Corpo delle Capitanerie di Porto al fine di rispondere con efficienza ed efficacia alle attività istituzionali in tema di tutela ambientale. Primi allestimenti operativi del velivolo ad ala fissa P166 DL3 SEM del Corpo (sistema fotografico VINTEN 618, sistema bispettrale Daedalus e multispettrale Sensytech, sistema infrarosso termico FLIR) – L’impiego del velivolo “long range” ATR 42 MP per finalità di monitoraggio in Italia ed all’estero – L’acquisizione di sistemi iperspettrali nella banda del Visibile e dell’Infrarosso Termico – le collaborazioni con università e istituti di ricerca.

Abstract

Italian Coast Guard vehicles, sensors and trainings evolution in order to efficiently and effectively respond to institutional activities in the field of environmental protection. Fixed-wing aircraft P166 DL3 SEM set up with Vinten 618 camera system, Daedalus bispectral system, Sensytech multispectral system and FLIR thermal infrared system. - Usage of "long range" aircraft ATR 42 MP, in Italy and abroad, for monitoring purposes - Acquisition of hyperspectral systems operating in the band of visible and termic infrared radiation - collaborations with universities and research institutes.

Premessa

La legge 979/82 “Disposizioni per la Difesa del mare” assegnò al Corpo delle Capitanerie di Porto il compito precipuo di tutelare il mare e le coste marine dall’inquinamento mediante il potenziamento del servizio di vigilanza da attuarsi con mezzi aerei e navali opportunamente allestiti. A circa 30 anni dall’emanazione della Legge 979/82 la problematica di tutela del mare e delle attività che ivi si svolgono o che con esso sono intimamente legate è di costante attualità e richiede un approccio sistemico del trinomio “Mezzi da Impiegare”, “Sensori” e “Formazione continua del Personale”.

Ferme restando le competenze specifiche attribuite all’Autorità Marittima dal combinato disposto della Legge n. 979 del 31.12.1982 e del Codice della Navigazione, la Legge n. 537 del 24.12.1993 ed il successivo decreto interministeriale del 28.04.1994, nel trasferire al Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare le funzioni del soppresso Ministero della Marina Mercantile in materia di tutela e difesa del mare, affidarono al Corpo delle Capitanerie di Porto l’espletamento di tutte le funzioni ed attività che si svolgono in ambito marittimo.

In tale contesto il Comando Generale del Corpo delle Capitanerie di Porto – Guardia Costiera esercita, mediante la propria Centrale Operativa ed i dipendenti Comandi periferici e mezzi aeronavali, ogni attività inerente i servizi di istituto, con particolare riguardo all’azione di prevenzione e contrasto all’inquinamento marino.

Nell'ipotesi di accadimento di grandi emergenze ambientali all'interno del settore di competenza le Capitanerie di Porto – Guardia Costiera assicurano il proprio intervento sia con risorse organizzative, umane e materiali proprie sia mediante il coordinamento di ogni altra forma di risorsa antinquinamento disponibile (eventualmente anche del comparto industriale) presso i vari Compartimenti Marittimi, coinvolgendo, se necessario, anche allo Stato Maggiore della Marina per l'utilizzo delle dipendenti unità navali militari allestite per la bonifica delle zone di mare interessate da inquinamenti marini da idrocarburo.

Ultima norma, in ordine di tempo, che assegna competenze specifiche in materia ambientale al Corpo delle Capitanerie di Porto è il D.lgs 152/2006 (cosiddetto Testo Unico dell'Ambiente), con particolare riferimento agli artt. 135-C.2, 195-C.4 e 296 –C.9.

I velivoli

La componente Aerea della Guardia Costiera trae origine dall'attuazione della legge 979/82 "Disposizioni per la difesa del mare" ove, testualmente si prevede:

- 1) l'istituzione di un servizio di protezione dell'ambiente marino, nonché di vigilanza costiera e di intervento per impedire e controllare gli inquinamenti in mare;
- 2) l'istituzione di un servizio di vigilanza sulle attività marittime ed economiche nelle aree di giurisdizione nazionale;
- 3) il potenziamento del servizio di vigilanza e soccorso mediante l'acquisizione di aeromobili.

In attuazione a quanto sopra, nel corso del mese di agosto 1988, vennero consegnati i primi 4 velivoli Piaggio P-166 DL3 in versione SEM (Sorveglianza Ecologica e Marittima) con capacità operativa classificata "Medium Range" che operarono stand alone sino al 2001 anno in cui la componente aerea acquisì anche 2 velivoli di ultima generazione ATR42 in configurazione MP (*Marittime Patrol*) classificati "Long Range".

Aeromobile Piaggio P166DL3-SEM

La Guardia Costiera dispone, attualmente, di 7 velivoli P166DL3-SEM di cui uno in versione "addestratore" ed altri due dedicati ai controlli ambientali mediante sistemi di telerilevamento. Il velivolo Piaggio 166DL3-SEM è un monoplano con ala medio-alta a gabbiano, dotato di carrello triciclo retrattile, coppia di eliche spingenti e turbomotori LTP 101 che forniscono circa 600 Shp. Alle due estremità alari sono applicati i serbatoi supplementari.

L'avionica di missione comprende un apparato Rarar Fiar Bendix con funzioni di ricerca e meteo, un sensore F.L.I.R. (Forward Looking Infra Red) uno scanner bispettrale (ultravioletto e infrarosso termico) Daedalus AA3505 ed uno scanner multi spettrale (visibile, infrarosso vicino e termico) Sensytech 1268 ATM-E.

Le apparecchiature di bordo consentono di effettuare, anche di notte, controlli finalizzati al monitoraggio antinquinamento alla ricerca di naufraghi ai quali, all'occorrenza, può essere prestato un primo soccorso mediante il lancio di zattere autogonfiabili.

SCHEDA TECNICA VELIVOLI		
	P166DL3-SEM	ATR 42 MP
		
Costruttore:	Piaggio Aero Industries	Alenia Consorzio ATR
Nominativo:	Orca	Manta
Entrata in esercizio:	1998	2001
Equipaggio	4 persone	7 persone
Lunghezza totale	12.38 mt	22.67 mt
Apertura alare f.t.:	14.69 mt	24.00 mt
Spazio di decollo:	475 mt	970 mt
Spazio di atterraggio:	415 mt	1150 mt
Autonomia oraria:	3,5 h	7 h

Tabella 1

Aeromobile ATR42MP

Il velivolo ATR42 è un bimotore turboelica, nato dalla collaborazione di due aziende europee, la ALENIA (italiana) e la AEROSPATIALE (francese), largamente usato dalle compagnie aeree civili per il trasporto passeggeri. La versione MP (*Maritime Patrol*), sviluppata dalla Società ALENIA, è destinata principalmente ad assicurare attività di pattugliamento marittimo (per la ricerca e l'identificazione del naviglio di superficie), SAR (ricerca e soccorso), lotta contro l'immigrazione clandestina e vigilanza antinquinamento. La Guardia Costiera dispone, attualmente, di 3 velivoli di cui uno in versione "Green".

Il Radar di Ricerca imbarcato è in grado di individuare anche imbarcazioni molto veloci e con ridotta superficie riflettente. Un gruppo elettro/optico denominato E.O.S.T. (Electro Optical Sensor Turret), che consta di una torretta trinata operante con rilevatori nella banda Visibile ed Infrarosso Vicino, Infrarosso Termico e Long Range TV) e piattaforma girostabilizzata, consente di ottenere immagini estremamente stabili, anche in presenza di elevati ratei di virata del velivolo e con l'ottica spinta alle massime focali. Completa la dotazione di bordo un sensore "attivo" operante nella banda delle microonde tipo S.L.A.R. (Side Looking Airborne Radar) per la scoperta di inquinamenti da idrocarburo. Nell'ambito della Convenzione di Barcellona per la protezione del Mar Mediterraneo dai rischi dell'inquinamento (firmata a Barcellona il 16 febbraio 1976, entrata in vigore nel 1978 e ratificata in Italia il 3 febbraio 1979) il velivolo ha concorso alla determinazione dell'estensione ed al monitoraggio dello sversamento che inquinò le acque e 900 chilometri di costa Franco- Spagnola nel novembre 2002. L'impatto sull'ecosistema del sinistro marittimo, occorso al largo delle coste Galesi alla motocisterna Prestige, ebbe tanta risonanza nell'opinione pubblica da determinare provvedimenti normativi di messa al bando delle motocisterne monoscafo nelle acque comunitarie.

Nel settembre-ottobre 2006 in base alla stessa Convenzione prese corpo l'operazione "Bahar" con

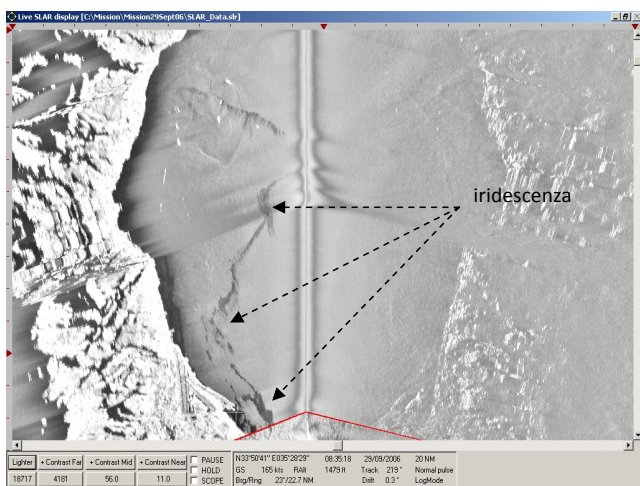


Figura 2 – Oil spill rilevati con sensore SLAR.

la quale venne effettuato il monitoraggio aereo delle coste libanesi interessate da un cospicuo sversamento di olio combustibile denso (OCD) proveniente dalla centrale termoelettrica di Jieh, che aveva provocato la fuoriuscita in mare di circa 15 mila tonnellate di idrocarburo, interessando circa 170 chilometri di costa. Bahar richiese l'impiego coordinato di unità aeree, navali e subacquee alle quali fu consentito di intervenire nell'area, teatro di operazioni belliche, solo nel settembre 2006 (circa due mesi dopo il bombardamento della centrale). L'intervento tardivo, conseguente al blocco aereo navale, dovette fronteggiare le difficoltà causate dall'inabissamento della parte più densa dell'idrocarburo, dalla deriva e dallo spiaggiamento della restante. Il sensore SLAR consentì la mappatura della frazione superficiale alla deriva, mentre il multi spettrale permise di individuare le aree costiere maggiormente raggiunte dall'OCD mediante la classificazione basata sull'algoritmo Spectral Angle Mapper (SAM).

I sistemi di cui è dotato l'ATR42MP sono sistematicamente impiegati in attività di monitoraggio del territorio nazionale secondo quanto previsto nelle linee guida contenute nel piano triennale, periodicamente edito, dal Comando Generale del Corpo. Lo stesso Comando, avvalendosi di convenzioni o di accordi di collaborazione con istituti universitari ed enti di ricerca, dispone l'impiego in missioni che coniughino l'interesse scientifico, quello operativo e quello addestrativo

del personale. L'Autorità Giudiziaria, all'occorrenza, può richiedere l'intervento del velivolo per accertare atti o fatti illeciti.

Sensori

Gli aeromobili della Guardia Costiera dispongono di vari sensori, specializzati per la ricerca in mare e per il telerilevamento marino classificabili come attivi (se in grado di "illuminare" autonomamente la scena ricevendole l'energia di ritorno) o passivi qualora ricevano l'energia originata da una sorgente esterna.

Sistema fotografico verticale e obliquo Vinten 618

E' costituito da due fotocamere identiche posizionate in modo da avere un diverso orientamento verticale l'una (80°) e obliquo l'altro (40°,5). Il sistema è in dotazione ai velivoli Piaggio

P166DL3 SEM del Corpo e viene impiegato normalmente con pellicole pancromatiche b/n per il controllo della fascia demaniale costiera.

Ai fini del **controllo del demanio marittimo** il sistema Vinten 618 viene impiegato in configurazione verticale, nelle ore centrali del giorno (11.00 - 15.00),

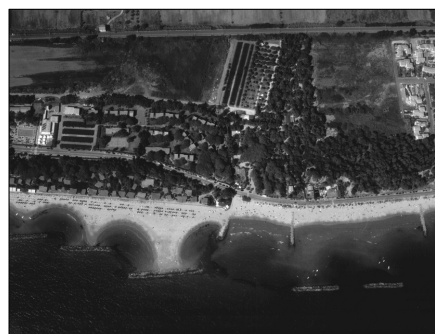


Figura 3 – Controllo demaniale e dei fenomeni erosivi.

a quota 5000 piedi, con temporizzazione di 1 fotogramma ogni 5 secondi. Ciò consente di ottenere una risoluzione al suolo di 25 cm, una copertura del fotogramma di 1150 mt.

Il sistema Vinten 618 può essere impiegato, per il **monitoraggio dei fenomeni erosivi**, in configurazione verticale, nelle ore centrali del giorno (11.00 - 15.00), a quota 3000 piedi, con temporizzazione di 1 fotogramma ogni 3 secondi. Ciò consente di ottenere una risoluzione al suolo di 15 cm, una copertura del fotogramma di 690 mt.

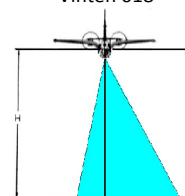
Gli **scarichi abusivi** non sono direttamente individuati attraverso la fotografia aerea, a meno di fenomeni illeciti macroscopici, in quanto i liquidi di scarico possono facilmente miscelarsi con l'acqua marina, senza che si manifesti l'alterazione del colore dell'acqua del litorale. L'utilizzo della fotografia aerea per tale obiettivo è prevalentemente complementare all'impiego del sensore Flir, in quanto permette di definire in maniera precisa l'ubicazione dello scarico, una volta scoperto con l'apparato ad infrarossi. Anche in questo caso l'apparato sarà usato in modalità verticale, nelle ore centrali del giorno (11.00 - 15.00), a quota 5000 piedi, con temporizzazione di 1 fotogramma ogni 5 secondi, conseguendo una risoluzione al suolo di 25 cm e una copertura del fotogramma di 1150 mt.

L'apparato, usato in configurazione obliqua, permette il rilievo del litorale finalizzato alla **visione prospettica dei manufatti** ivi presenti. Gli orari più opportuni per l'esecuzione di questo tipo di missione ricadono nella fascia oraria tra le 11.00 e le 15.00 ad una quota variabile tra 1600 e 2500 piedi con impostazione di temporizzazione e risoluzione/copertura conseguenti alla quota di volo adottata.

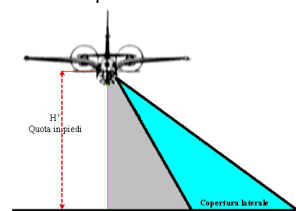
L'impiego del sistema Vinten 618 è soggetto a preliminare pianificazione su idonea cartografia.



Vinten 618



Copertura Verticale



Copertura Obliqua

Figura 4 – Campi di vista del sensore Vinten 618.

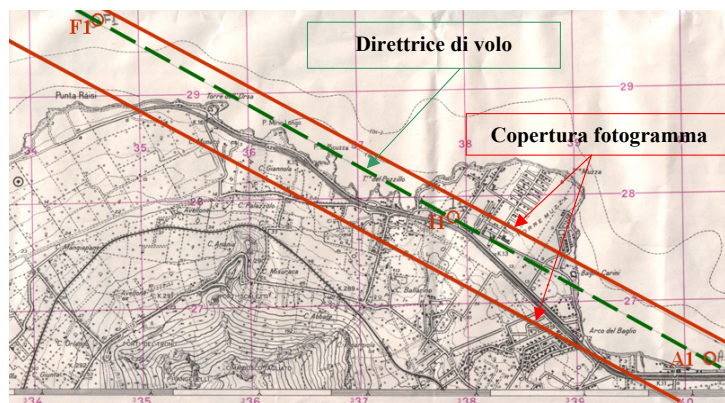


Figura 5 – Pianificazione su carta topografica.

A seguito della missione è necessario procedere allo sviluppo della pellicola al fine di acquisire le immagini. Il tempo necessario per tale operazione è connesso ai metri di pellicola da sviluppare.

A sviluppo avvenuto, si effettuerà la scansione dei fotogrammi, in Bianco e Nero o a Colori, per l'acquisizione degli stessi in formato digitale e la successiva memorizzazione su sup-

porti ottici (cd – dvd). Il dato rilevato sarà disponibile successivamente all'elaborazione del Laboratorio Fotografico del Nucleo Aereo (circa 3 gg).

Fotocamere digitali

Tutti i velivoli sono equipaggiati con fotocamere digitali portatili, operate direttamente dal personale di bordo. Sono utilizzate principalmente nel corso di operazioni di polizia marittima e per documentare le fasi salienti delle operazioni di soccorso/antiquinamento e/o di contrasto all'immigrazione clandestina, forniscono in output immagini a colori con risoluzione dipendente dalla quota del velivolo e dalle impostazioni. Il dato rilevato è direttamente fruibile mediante un PC e archiviabile su supporto ottico (cd – dvd).

Videocamere IR

Operano nella banda dell'infrarosso termico (8 -12 μm), grazie a rivelatori IR del tipo Hg-Cd- Te (Mercurio – Cadmio – Tellururo). Qualunque superficie esterna di un corpo emette, a varie lunghezze d'onda, radiazioni elettromagnetiche, la cui potenza dipende dalla temperatura del corpo, dalla lunghezza d'onda di emissione e dal coefficiente di emissività (caratteristiche fisiche-chimiche-geometriche della sua superficie), secondo le leggi generali dell'emissione di energia elettromagnetica. Da un punto di vista operativo, tale comportamento, consente il rilevamento della scena, anche notturno, grazie alla continua emissione di energia elettromagnetica.

Le diverse tonalità di grigio presenti nelle immagini rilevate nella banda dell'infrarosso termico non devono essere considerate come gradazioni di una scala termometrica bensì sono rappresentative della potenza elettromagnetica proveniente dal corpo osservato dipendente, a sua volta, dalla temperatura superficiale del corpo e del suo coefficiente di emissività. Per tale motivo differenti grigi non indicano necessariamente, o esclusivamente, differenti temperature ma possono essere anche indice di materiali caratterizzati da diverso coefficiente di emissività.

L'operatore può agevolmente individuare la presenza di anomalie (disomogeneità di temperatura e/o materiale) sebbene non possa direttamente dedurre la temperatura degli oggetti inquadrati.

- Il velivolo Piaggio P 166 DL3 “Orca” del Corpo dispone di un sistema a puntamento manuale, denominato FLIR (Forward Looking Infra Red), alloggiato sotto l’ala sinistra dell’aereo. Il sistema di termovisione passivo visualizza in tempo reale su di un monitor la scena ripresa con una profondità di pixel pari a otto bit. Tra le finalità operative del sensore rientrano la rilevazione degli scarichi in mare dalla costa, l’individuazione delle strisce di iridescenza, il monitoraggio di chiazze oleose consistenti ed estese e la visione notturna per l’investigazione di natanti.

La **rilevazione degli scarichi in mare dalla costa** avviene tra le 06.00 e le 08.00 con sorvoli a quote tra 1000 e 1500 piedi. L’ottica (campo largo) viene posizionata con un tilt di -15° e azimuth prossimo a 0°. Il sorvolo deve avvenire mantenendo la costa a sinistra rispetto alla direttrice di volo.

Le **strisce di iridescenza** sono osservabili a quote tra i 500 e i 1500 piedi con orientamento dell’ottica (campo largo) posizionata con un tilt di -10° e azimuth prossimo allo 0°. Lo svolgimento della missione prevede il posizionamento del velivolo in modo che la striscia iridescente scorra sotto la semiala sinistra. L’operatore annota le coordinate di inizio e fine striscia iridescente, l’orientamento ed ampiezza della chiazza, quota, velocità e GDO del velivolo, stato del mare ed eventuali note a commento della presenza di unità navali nelle immediate vicinanze o con elementi del moto compatibili.

Chiazze oleose consistenti ed estese sono osservate con voli tra i 1000 e i 2000 piedi di quota e ottica (campo largo) posizionata al fine di conseguire una visione d’insieme della zona di mare interessata dall’inquinamento. Identificate, attraverso l’immagine sul monitor, le zone a più alta concentrazione di inquinante, l’operatore annota il GDO, le coordinate del punto centrale dell’area, la descrizione e stima dell’estensione, le coordinate dei punti a più alta concentrazione di inquinante, lo stato del mare, eventuali note a commento della presenza di unità navali nelle immediate vicinanze, nonché quota, velocità del velivolo. Durante l’operazione eventuali mezzi dis inquinanti ricevono le suddette informazioni.

L’**investigazione notturna di natanti** è effettuata operando a quote tra i 500 e i 1500 piedi alternando le ottiche di campo largo e campo stretto per riconoscere e classificare i target. In questo caso l’apparato deve essere impiegato in maniera complementare al radar di bordo. Il radar permette la scoperta del target, il FLIR ne consente la sua classificazione rilevandone l’attività che sta compiendo anche alla luce della scia termica che permane in acqua.

- L’ATR 42 dispone, di una camera termica con tre ottiche intercambiabili a diversa lunghezza focale, inserita in un sistema elettro-ottico (E.O.S.T.) alloggiato in una torretta installata sotto la fusoliera del velivolo. La scena inquadrata viene visualizzata, in tempo reale, e resa con una profondità di pixel pari a 12 bit insieme a metadati quali GDO (gruppo data orario), posizione gps del target, ottica selezionata, quota di volo.

Il sensore, impiegato per compiti analoghi a quanto sopra indicato per il P 166 DL3, stanti le differenti ottiche e collocazione, necessita di diverse modalità operative. In particolare, per la **rilevazione degli scarichi in mare dalla costa**, le missioni sono svolte a quote tra i 1500 e i 5000 piedi lasciando la costa sul lato destro del vettore; l’**individuazione delle strisce di iridescenza** è effettuata con voli tra i 1000 e i 2000 piedi; il **monitoraggio di chiazze oleose consistenti ed estese** è operato tra 1500 e 3000 piedi.

Le videocamere IR in dotazione consentono l’inversione di polarità (bianco-caldo, nero-freddo e viceversa) e la registrazione dei dati su nastro magnetico digitale per la loro archiviazione e fruizione differita; i filmati possono, poi, essere riversati su un formato commerciale analogico o digitale mediante appositi apparati, presenti solo presso i Nuclei Aerei.



Figura 6 – Sistema FLIR 2000 LCRS.

Video camera a colori ATV (Acquisition Tele Vision)

La videocamera ATV è in dotazione al solo velivolo ATR 42 “Manta” inserita nel sistema E.O.S.T. (Electro-optical Surveillance and Tracking). Dotata di uno zoom continuo, è utilizzata come ausilio nello svolgimento dei vari compiti di istituto assegnati alla componente aerea. La attività di vigilanza costiera, vigilanza pesca, polizia marittima, antinquinamento si avvalgono del sensore ATV, utilizzato secondo i più comuni canoni di impiego di telecamere a colori, in missioni svolte necessariamente in orari diurni. Il velivolo sarà posizionato in modo da agevolare la registrazione con il sensore e i filmati potranno essere successivamente impiegati purché riversati, mediante apparati presenti solo presso i Nuclei Aerei, su un formato commerciale analogico o digitale.

Spotter monocromatico LRTV (Long Range Tele Vision)

La videocamera monocromatica L.R.T.V., opera nella banda del visibile e dell'infrarosso vicino (Near Infra Red). Tale sensore viene utilizzato prevalentemente per la lettura dei nominativi delle unità navali, per rilevarne segnali ottici marini visivi e la presenza di eventuali clandestini in coperta. Le informazioni raccolte possono essere impiegate anche ai fini della verifica del numero di persone a bordo di pescherecci e/o unità da diporto e del riconoscimento della persona alla condotta del natante impegnato in operazioni di immigrazione clandestina o altre attività illecite. Le missioni sono condotte in orario diurno oppure notturno qualora disponibile il faro di ricerca. Per l'**investigazione di natanti** condotta in orari notturni è necessario operare ad una quota compresa tra i 500 e i 2000 piedi avvicinando il bersaglio lungo la direttrice poppa/prua ed utilizzando la scia come sentiero di avvicinamento

Scanner

Nei sistemi elettro-ottici a scansione, detti comunemente “scanner”, la radiazione elettromagnetica, raccolta da uno specchio rotante e convogliata su un'ottica alloggiata nella cosiddetta “testa” dello strumento, viene focalizzata sui singoli sensori di lavoro del sistema. La velocità di rotazione dello specchio è stabilita in funzione della velocità del velivolo e della quota; in tal modo l'immagine ricavata risulta composta da linee, ciascuna corrispondente ad un giro dello specchio rotante.

- Il **Daedalus AA3505 (Bispettrale)** è un apparato di rilevazione operante nelle lunghezze d'onda dell'ultravioletto (U.V.) e dell'infrarosso termico (I.R.). La presenza contestuale dei due canali è finalizzata all'individuazione, nelle ore diurne, delle chiazze di idrocarburi sull'acqua. L'infrarosso termico evidenzia la differenza in termini di emissività (si noti che l'idrocarburo in acqua si porterà all'equilibrio termico, pertanto non saranno riscontrabili differenze di temperatura tra le



Figura 7 – Identificazione di unità con LRTV.

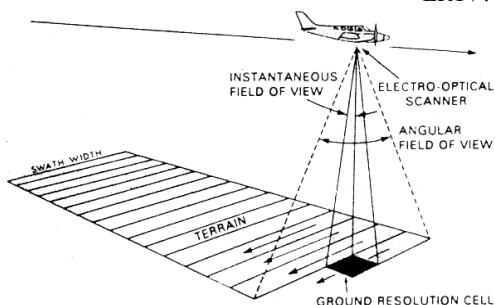


Figura 8 – Schema di scansione.

fasi). Un concomitante e caratteristico picco di fluorescenza rilevato nel canale ultravioletto confermerà la presenza dell'idrocarburo sul corpo idrico. In orari notturni è possibile impiegare solo il canale IR, tuttavia le anomalie radiometriche eventualmente riscontrate, in difetto dell'informazione proveniente dal canale ultravioletto, non potranno essere imputate con certezza a chiazze oleose. L'impiego operativo del sensore avviene, pertanto, in orari diurni per la rilevazione delle macchie di idrocarburi o all'alba per la rilevazione degli scarichi costieri; la quota di esecuzione della missione è, nei due casi, compresa tra i 1000 e i 2000 piedi. Oltre alla visualizzazione diretta a monitor, il sistema fornisce il proprio output anche su video cassette SVHS (solo un canale, ma direttamente fruibile) o su Hard Disk rimovibili. L'estrazione e archiviazione dei dati, nel secondo caso, è necessariamente effettuata tramite gli apparati in dotazione al Nucleo Aereo di Catania.

• L'impiego del **sistema multispettrale Sensytech 1268 ATM-E** per le rilevazioni superficiali di zone marine interessate da inquinamenti da idrocarburi non è pagante, da un punto di vista operativo, quanto altri sistemi (Radar Slar, Flir, IR Camera) in grado di produrre immagini della zona inquinata con più celerità e semplicità d'impiego. L'apparato viene impiegato, con maggiore efficacia,

Canale	Sensore ATM Banda (μm)	SensoreCZCS Banda (μm)
1	0,42 – 0,45	0,43 – 0,45
2	0,45 – 0,52	0,48 – 0,50
3	0,52 – 0,60	0,50 – 0,53
4	0,60 – 0,62	0,54 – 0,57
5	0,63 – 0,69	0,58 – 0,63
6	0,69 – 0,75	0,63 – 0,70
7	0,76 – 0,90	0,71 – 0,81
8	0,91 – 1,05	0,83 – 0,94
9	1,55 – 1,75	
10	2,08 – 2,35	
11	8,50 – 14,00 (basso guadagno)	
12	8,50 – 14,00 (alto guadagno)	

*Tabella 9 – Risoluzione spettrale
Sensytech 1268 ATM-E.*

per valutare le conseguenze che gli sversamenti di idrocarburi in specchi acquei inducono nei parametri ambientali fisici, chimici e biologici. Tuttavia, solo l'impiego e il coordinamento di uomini e mezzi, secondo un protocollo che preveda una serie coordinata e formalizzata di azioni tese ad ottenere l'acquisizione simultanea e georeferenziata di misurazioni spettrali, nonché di campionamenti fisico-chimici e biologici, può permettere la comparazione di dati radiometrici e di fattori biologici dello specchio acqueo monitorato. Sulla scorta dei dati così rilevati, il Corpo delle Capitanerie di porto realizza mappe tematiche degli indicatori fondamentali dello stato di salute dell'ecosistema marino quali temperatura superficiale, sedimenti solidi sospesi e clorofilla A. Il protocollo citato prevede che il personale dei Nuclei Aerei, preliminarmente all'esecuzione della missione di telerilevamento pianifichi la missione e esegua la calibrazione del sistema. Nello stesso ambito personale qualificato imbarcherà sulle unità navali del Corpo per effettuare le misurazioni e gli eventuali campionamenti in situ necessari. I campioni di acqua prelevati nello specchio acqueo monitorato saranno analizzati da Laboratori/Istituti convenzionati in grado di determinare quantitativamente i parametri fisico-biologici che saranno successivamente utilizzati per gli algoritmi di correlazione. Le caratteristiche del Sensytech 1268 ATM-E (IFOV 2.5 [mrad], FOV 1.5 [rad], linea di scansione 714 [pixel], cicli di scansione 6.25 – 100 [scan/sec], Risoluzione radiometrica 12 [bit] pari a 4096 [livelli], quota minima operativa 1.000 [piedi] e risoluzione spettrale come da tabella) unitamente alle sue limitazioni (necessità di calibrare ed imbarcare l'apparato ad ogni missione, autonomia limitata nella banda termica legata all'esaurimento della carica di azoto liquido) suggeriscono un impiego diurno dalle ore 11.00 alle 15.00, evitando le condizioni favorevoli alla presenza di sunglint. I rilievi in temperatura possono essere condotti anche nottetempo. Voli condotti ad una quota di 4000 piedi produrranno immagini con pixel size al suolo di circa 3 metri. I dati memorizzati in formato digitale proprietario Sensytech sono resi fruibili a successive elaborazioni previa decodifica operata con applicativi a disposizione dei nuclei aerei e del Comando Generale del Corpo. Durante il volo l'operatore può osservare a monitor un canale a sua scelta della scansione in corso; tuttavia nessuna ulteriore informazione sarà disponibile prima della citata decodifica.

Side Looking Airborne Radar (SLAR)

Il sensore SLAR è un radar operante in banda X (9375 Mhz) per la scoperta a lungo raggio di inquinamento da olii combustibili vari sulla superficie marina. Il sensore SLAR è integrato nel sistema EOST, in dotazione al velivolo ATR 42 "Manta" e consente lo svolgimento di missioni di moni-

toraggio marittimo alla ricerca di possibili zone inquinate da oli combustibili. Le operazioni sono condotte sia di giorno che di notte alla quota di 1500 piedi impostando l'apparato su una scala 20 miglia nautiche, con normal pulse e log mode per rilievi costieri delle acque territoriali oppure alla quota di 4000 piedi impostando l'apparato su una scala 40 miglia nautiche, con normal pulse e log mode per rilievi d'altura. Il sistema EOST consente la memorizzazione dei dati rilevati dal sensore come filmati dai quali è possibile esportare i frame di interesse in formato jpg. Ciò consente una immediata fruizione dei dati che non necessitano di ulteriori elaborazioni.

Conclusioni

La Legge 979/82 determinò per il Corpo delle Capitanerie di Porto la necessità di dotarsi di una componente aerea e di potenziare l'esistente supporto navale e l'acquisizione di sistemi di telerilevamento per il controllo ambientale. Da allora l'impiego operativo e l'evoluzione tecnologica hanno posto in luce potenzialità e limitazioni del vettore aereo: il monitoraggio costante, frequente e su vaste aree comporta oneri non sostenibili. Mentre il vettore aereo è ottimale nella effettuazione di rilievi mirati, condotti in aree circoscritte e offre la possibilità di determinare il tempo ed il luogo di missione, i sensori satellitari agevolano la rilevazione di vasti territori offrendo un quadro d'insieme di fenomeni che si evolvono in tempi compatibili con i sorvoli determinati dall'orbita.

Il vasto repertorio di sensori e vettori a disposizione consente al Corpo di rispondere al mandato Istituzionale con una elevata e multiforme capacità operativa, tuttavia richiede al personale una preparazione multidisciplinare che non può prescindere da una continua formazione ed addestramento. In tale ottica il Comando Generale del Corpo delle Capitanerie di Porto sin dallo scorso 2008 ha ritenuto di strategica importanza istituire presso l'Accademia Navale di Livorno un laboratorio didattico di Telerilevamento ed un cooperante laboratorio di biologia marina, inquadrati all'interno del Dipartimento CP della Direzione Studi. I laboratori e l'unità navale scientifica CP406 A. Scialoja, dislocata presso la Capitaneria di Porto di Livorno consentono agli Ufficiali in formazione di effettuare campagne addestrative per acquisire le indispensabili nozioni teorico pratiche connesse ai compiti istituzionali accennati nella stesura del presente lavoro. L'attività di telerilevamento, come noto, richiede competenze in un numero elevato di settori scientifici che non possono facilmente essere dominati da un singolo soggetto. Il personale coinvolto in questa attività, per quanto formato ed addestrato, deve necessariamente attingere a competenze e conoscenze esterne all'amministrazione mediante collaborazioni che si concretizzano in accordi, protocolli, contratti e convenzioni con istituti di ricerca, università e aziende private. In tale ambito rientrano:

- il protocollo con l'Associazione Italiana Telerilevamento e le Università di Palermo e Cagliari;
- la convenzione con l'INGV;
- l'iniziativa formativa per il "Monitoraggio dell'Ambiente Marino finalizzato alla prevenzione degli inquinamenti";
- corsi di telerilevamento.

L'acquisizione del sistema iperspettrale ottico CASI 1500 arricchisce le capacità operative nel settore e pone una nuova sfida agli operatori che dovranno apprendere le potenzialità e le modalità di impiego. Il Corpo delle Capitanerie di Porto, in futuro, potrà avvicinare i sensori multispettrali obsolescenti in banda termica, con sistemi iperspettrali TASI.

Bibliografia

- Piano Triennale 2010 – 2012
- Protocollo d'intesa tra il Comando Generale del Corpo delle Capitanerie di Porto e l'INGV stipulato in data 23.09.2009
- Circolare Amb 1 del Comando Generale del Corpo delle Capitanerie di Porto, 22.05.2007.
- Protocollo con l'Associazione Italiana Telerilevamento e le Università di Palermo e Cagliari
- Piano Triennale 2007 – 2009
- Manuale tecnico operativo velivolo ATR 42MP edizione 2001;
- Manuale tecnico – operativo velivolo Piaggio DL3 SEM edizione 1988;

Approcci innovativi alla definizione degli standard INSPIRE: il progetto europeo *HABITATS*

Michela Gori, Matteo Guccione, Michele Munafò, Gabriella Rago

ISPRA, Via Brancati 48, 00144 Roma, Tel. 06 50094229, e-mail: gabriella.rago@isprambiente.it

Abstract in italiano



Figura 1 – Logo del Progetto HABITATS.

Figura 2 – Logo del Competitiveness and Innovation framework Programme(CIP).

Figura 3 – Logo del Policy Support Programme (ICT PSP).

Figura 4 – Logo della Comunità Europea (UE).

Il progetto *Habitats*, finanziato nell'ambito del programma CIP-ICT-PSP, si pone come principale obiettivo l'evoluzione degli standard della Direttiva INSPIRE attraverso un innovativo processo di validazione partecipativa finalizzata alla costruzione di un social network transeuropeo che generi scenari di utilizzo e che metta in evidenza le esigenze dei portatori di interesse. Lo scopo è l'implementazione dei modelli di dati e metadati di quattro tematiche (dalla n.16 alla n.19), dell'Allegato III della Direttiva INSPIRE legate allo studio e rappresentazione cartografica degli elementi di biodiversità: Regioni marine; Regioni bio-geografiche; Habitat e biotopi; Distribuzione delle specie. La validazione da parte degli utenti viene svolta all'interno di 7 casi studio riguardanti i temi sopra citati e sviluppati dai partner del progetto. La validazione dei casi studio segue l'approccio indicato dal *Social Space for Research and Innovation (SSRI- www.researchspaces.eu)* e coinvolge numerosi gruppi di stakeholders nei quali gli utenti partecipano attivamente alla progettazione dei servizi di rete e sviluppano integrazioni *on -demand* nelle piattaforme dei casi studio. I gruppi per la validazione dei casi studio, inoltre, sviluppano e sperimentano modalità organizzative/istituzionali per i servizi sostenibili e i modelli di *business* che supportano la sostenibilità e le strategie di utilizzo del progetto. Specifici indicatori misurano i miglioramenti previsti in termini di disponibilità, accesso e utilizzo dei dati/servizi.

Abstract in inglese

The *HABITATS* project focuses on the evolution of INSPIRE standards through a participatory validation process building a trans-European social network to generate usage scenarios and requirements, and assess the impact of project outcomes, to directly feed into interactive data/metadata modelling of the four INSPIRE data themes 16-19. Widespread user validation is grounded in 7 pilot services covering these data themes across Europe, and led by content-providing partners. The validation pilots involve multi-stakeholder partnerships in which users actively participate in the co-design of the network services, and develop on-demand integration on the pilot service mash-up platforms. Validation pilot partnerships develop and test organisational/institutional arrangements for service sustainability and business models that underpin the project's sustainability and exploitation strategy. Specific and realistic quantified indicators measure the envisaged improvements in availability, access and use.

Introduzione



Figura 5 – Parco delle Madonie(Italia).

Sono diverse le iniziative in corso per stabilire la conformità dei dati alla Direttiva INSPIRE con le norme generali per lo scambio, la condivisione, l'accesso e l'utilizzazione, in maniera integrata con le realtà regionali e locali, il monitoraggio, il reporting, i requisiti di dati e servizi e l'interoperabilità dei metadati. La Direttiva INSPIRE nasce, infatti, dall'esigenza di rendere condivisibili grandi quantità di dati territoriali di forma e provenienza molteplici al fine di costituire un'unica infrastruttura per l'informazione territoriale a livello europeo basata sulle infrastrutture operanti a livello nazionale. Si tratta di dati territoriali già prodotti o aggiornati dalle autorità pubbliche nell'ambito delle loro attività istituzionali in quanto la direttiva non impone la raccolta di nuovi dati territoriali ed è finalizzata esclusivamente alla condivisione e riuso dei dati già disponibili in formato elettronico all'interno della pubblica amministrazione. In tale contesto, riteniamo che non sia stata ancora data la dovuta attenzione all'integrazione dei processi tecnologici all'interno di una piattaforma partecipativa di *multi-stakeholder*.

Il progetto *HABITATS*



Figura 6 – Parco delle Madonie (Italia).

Il progetto *Habitats*, finanziato nell'ambito del programma CIP-ICT-PSP, vede il coinvolgimento di 10 *partner* europei e si pone come principale obiettivo l'evoluzione degli standard della Direttiva INSPIRE attraverso un innovativo processo di validazione partecipativa. Questo è finalizzato alla costruzione di un *social network* transeuropeo che generi scenari di utilizzo, metta in evidenza le esigenze dei portatori di interesse, e valuti gli impatti dei risultati di progetto. Lo scopo è l'implementazione dei modelli di dati e metadati di quattro tematiche (dalla n.16 alla n.19), dell'Allegato III della Direttiva legate allo studio e rappresentazione cartografica degli elementi di biodiversità: Regioni marine; Regioni bio-geografiche; Habitat e biotopi; Distribuzione delle specie. La validazione da parte degli utenti viene svolta all'interno di 7 casi studio riguardanti i temi sopra citati e sviluppati dai partner del progetto.



Figure 7, 8, 9, 10 – Parco delle Madonie (Italia).

I casi studio sono:

- Monitoraggio dei Salmoni selvatici (IE)
- Area Marina Protetta La Palma (ES)
- Escursioni e percorsi naturalistici nel Parco delle Madonie (IT)
- Riserva Naturale di Soria (ES)
- Gestione del pascolo nel Parco della Madonie (IT)
- Attività economiche negli habitats bentonici marini e costieri (LV)
- Programma nazionale sulle foreste della Repubblica Ceca (CZ).

La validazione dei casi studio segue l'approccio indicato dal *Social Space for Research and Innovation (SSRI- www.researchspaces.eu)* e coinvolge numerosi gruppi di *stakeholder* nei quali gli utenti partecipano attivamente alla progettazione dei servizi di rete e sviluppano integrazioni on-demand nelle piattaforme dei casi studio.

I gruppi per la validazione dei casi studio, inoltre, sviluppano e sperimentano modalità organizzative/istituzionali per i servizi sostenibili e i modelli di business che supportano la sostenibilità e le strategie di utilizzo del progetto. Specifici indicatori misureranno i miglioramenti previsti in termini di disponibilità, accesso e utilizzo dei dati/servizi.



Figure 11,12 – Meeting presso il Parco delle Madonie (Italia).

L'ottavo caso studio

La diversa provenienza dei 10 partner consente di mettere a confronto esperienze tra paesi molto diversi tra loro per condizioni sociali, politiche, tradizioni, cultura oltre che per posizione geografica. Il progetto con i suoi casi studio abbraccia tutta l'Europa, dai paesi del Mediterraneo, a quelli nel mare del Nord, fino ai paesi Baltici e di centro Europa: Spagna, Italia, Irlanda, Repubblica Ceca, Austria, Lettonia.

Figura 13 – I Loghi dei Partner HABITATS.

L'ISPRA, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, inizialmente coinvolto in veste di utente per la validazione di dati riguardanti la biodiversità e per partecipare alle attività di *User Engagement*, ha introdotto un ottavo caso studio, un'indagine a livello nazionale che coinvolge utenti dal livello regionale a quello nazionale.

Con il recepimento italiano della Direttiva INSPIRE (*D.lgs. 32/2010, art. 3, c.2*) che istituisce la realizzazione di *INITMA, Infrastruttura nazionale per l'informazione territoriale e del monitoraggio ambientale*, l'ISPRA è la Struttura di coordinamento per la realizzazione di *INITMA*, con il compito di raccogliere, integrare e monitorare gli elementi informativi resi disponibili dalle pubbliche amministrazioni. I risultati saranno analizzati per il progetto *HABITATS*, focalizzando l'attenzione sui set di dati e servizi riguardanti l'Allegato III della Direttiva INSPIRE per identificare amministrazioni e agenzie ambientali che lavorano attivamente sui temi del progetto: Regioni marine; Regioni bio-geografiche; Habitats e biotopi; Distribuzione delle specie, e valutare il grado di adozione degli standard di INSPIRE.

Attraverso la compilazione di un *Excel Template* per il monitoraggio di INSPIRE riguardante i temi dell'allegato I, II, III, predisposto dalla Commissione Europea, le pubbliche amministrazioni hanno fornito gli elementi informativi necessari ad assicurare l'interoperabilità dei set di dati territoriali e del monitoraggio ambientale e dei servizi ad essi relativi (*D.lgs. 32/2010, art. 7, c. 5*).

L'ISPRA, inoltre, in quanto Autorità pubblica, è responsabile dell'aggiornamento dei metadati relativi ai set di dati territoriali di propria competenza e dovrà adeguare, elaborare e rendere disponibili i set di dati territoriali e i corrispondenti servizi conformemente alle disposizioni di esecuzione adottate a livello comunitario.

In tale contesto, oltre ai dati di competenza diretta di ISPRA, sono stati censiti anche gli ulteriori dati di riferimento prodotti da soggetti esterni ma comunque presenti in ISPRA per uso interno; i metadati, in questo caso possono essere incompleti e non sono stati pubblicati.



Figure 14, 15 – Meeting *HABITATS* a Gratz (Austria).

Il passo successivo sarà la selezione di portatori di interesse chiave che lavorano in enti pubblici, o che sono in stretto contatto con loro, sulle attività connesse all'ambiente (come la pianificazione del territorio e l'uso delle risorse naturali). Gli utenti selezionati saranno poi contattati e coinvolti in una simulazione di convalida standard utilizzando la piattaforma PAESI, una specifica piattaforma sviluppata all'interno del progetto *HABITATS*. L'obiettivo principale di questo esperimento sarà quello di valutare le esigenze degli stakeholder e gli impatti potenziali che potrebbe avere il rispetto degli standard di INSPIRE sui processi decisionali a livello amministrativo regionale.

Si mette in moto un approccio innovativo in cui è stato dato pieno rispetto al principio di sussidiarietà e una maniera per monitorare le politiche ambientali associate alla direttiva INSPIRE all'interno delle istituzioni.

E' importante sottolineare il valore aggiunto di questo ottavo caso studio che fornisce informazioni rilevanti e sostanziali da un punto di vista istituzionale. Inoltre, ci si aspetta che i benefici associati a questo caso studio portino ad una sensibilizzazione a livello nazionale e che tale esperimento possa servire in futuro ad altre agenzie nazionali e regionali in tutta Europa.



Figura 16 – I Partner del Progetto HABITATS.

Riferimenti bibliografici

DIRETTIVA 2007/2/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO
del 14 marzo 2007

www.inspiredhabitats.eu

www.inspiredhabitats.ning.com/

www.researchspaces.eu

www.isprambiente.it

[www.facebook.com/Inspired Habitats](https://www.facebook.com/InspiredHabitats)

www.twitter.com/inspiredhabitats

La cartografia di Geologia Urbana in Umbria: nuovo strumento cartografico di contenuti delle Scienze della Terra

Lucilia Gregori

Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Perugia, lucilia@unipg.it
Piazza Università 1, 06123 Perugia, Tel. 0755840305, Fax 0755652603

Riassunto

La cartografia di Geologia Urbana è un tipo di cartografia tematica che permette di realizzare strumenti di comunicazione di contenuti scientifici che, altrimenti, sfuggirebbero nella frequentazione dei luoghi urbani rappresentati. I materiali, infatti, con cui è realizzato l'edificato urbano, sono descritti e trasferiti tramite tecniche digitali in planimetrie delle acropoli, fornendo informazioni di carattere litologico, mineralogico-petrografico, storico artistico, nonché del contesto geologico e paleogeografico in cui la città è collocata.

A tal fine, è stato attivato un "Progetto Cartografico di Geologia Urbana", realizzato in collaborazione tra il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Perugia e il Servizio Informatico/Informativo: Geografico, Ambientale e Territoriale della Regione Umbria, che prevede la realizzazione delle cartografie relative alle più importanti città della regione umbra.

Le cartografie hanno una parte frontale, dove viene rappresentata la planimetria litologica, l'indicazione delle rocce, immagini simbolo della città e un inquadramento geologico e geomorfologico dell'area urbanizzata. Nella parte retro della carta sono rappresentati dei *focus* sui monumenti con particolari lito-storici, fotografici, nonché la rappresentazione di sezioni sottili al microscopio delle rocce dei monumenti. Si acquisisce così uno *zoom* sui monumenti, dall'immagine scenica ai dettagli microscopici, fino a inquadrare le vicende antropiche in un contesto ambientale che ha fortemente condizionato l'evoluzione e lo sviluppo della città.

La complessità litologica e morfologica dei luoghi urbani dell'Umbria ne fa una piacevole meta turistica, ma non ancora geo-turistica. Tali cartografie sono, pertanto, un'interessante occasione culturale ed economica che, anche attraverso l'uso da parte delle istituzioni locali, diventa non solo un mezzo per acquisire informazioni culturali, ma strumento per la conoscenza, gestione e tutela dei valori dei centri urbani.

Abstract

The mapping of Urban Geology is a type of thematic map that allows to create communication tools of scientific content that would otherwise escape in attendance represented the urban places. The materials, in fact, which is built on the urban fabric, are represented and transferred through digital techniques in the maps of the acropolis. Will thus provide lithological, petrographic, artistic and historical informations, also geological and paleogeographic context in which the city is located. For this purpose, we have activated a "Cartographic Project of Urban Geology", made in collaboration with the Department of Earth Sciences of University of Perugia and Service Information: geographical, environmental and territorial of the Umbria region, which includes the construction of maps relating to the most important cities of the Umbrian region. The maps have a front, where the map is packed lithological indication of the rocks, recognizable images of the city and a geological-geomorphological framework of the urban area. At the back of the map are represented the monuments with particular focus of litho-historical photos and the representation of rocks thin sections under the microscope. It thus acquires a zoom on the microscopic details of

monuments from the image stage up to frame the events in a human environment that has strongly influenced the evolution and development of the city. Lithological and morphological complexity of urban places of the Umbria region makes it a pleasant tourist destination, but not geo-tourism. These maps are, therefore, an interesting cultural and economic opportunity through also local institutions, it becomes not only a means of acquiring cultural information, but a tool for knowledge management and the protection of the values of urban centers.

Introduzione

Le rappresentazioni cartografiche, attualmente, vantano un'ampia gamma di opportunità nella loro realizzazione e costituiscono strumenti di lettura, interpretazione e gestione dei dati riportati sotto aspetti e finalità più diverse, di immediata consultazione e fruizione. Si è molto lontani dalle cartografie storiche cinquecentesche di Leonardo da Vinci (1502) e di Egnazio Danti (1584) che hanno, tuttavia, un valore e un ruolo paleo-ambientale significativo ai fini della conoscenza dei luoghi in epoca storica e della loro ricostruzione paleogeografica. Oggi, le cartografie analogiche e/o digitali complesse e accessibili in tempo reale, sia nei portali sia nei supporti multimediali, sono il nuovo e obbligato orizzonte cartografico.

All'interno di questa grande variabilità di mezzi cartografici, s'inserisce un nuovo approccio alla rappresentazione delle realtà ambientali e, in particolare urbane, che mira all'acquisizione di contenuti culturali attraverso uno strumento nuovo e fruibile sotto il profilo della comunicazione scientifica e geoturistica: la cartografia di Geologia Urbana.

Geologia Urbana

Tale disciplina, che investe molti campi di ricerca (geografia, geomorfologia, geologia applicata e idrogeologia, ecc.) si occupa di temi riguardanti i siti urbani: le città, in genere, rispondono nella loro collocazione topografica, a esigenze antropiche e quindi strategiche o sociali (siti topograficamente rilevati, dominanti, sicuri e lontani da zone insalubri o paludose). Le soluzioni ubicative, però, sono talora legate anche a peculiarità geologico-geomorfologiche (materiali da costruzione, stabilità del sito, ecc.). La scelta topografica dei siti urbani è stata sempre oculata da parte dei primi abitanti dei luoghi, compatibilmente con le esigenze e le competenze dell'epoca, ma in qualche caso, ha subito e/o provocato problemi legati a fenomeni di instabilità, inquinamento, ecc., innescando, talora, situazioni di pericolosità e rischio per le strutture e le popolazioni. Alcuni temi della geologia urbana, pertanto, mirano alla sicurezza e a mitigare e risolvere problemi di gestione delle aree urbanizzate in relazione ai caratteri del territorio. Esiste, però, un altro aspetto della Geologia Urbana, di valore più culturale, che investe discipline e finalità diverse da quelle appena esposte.

Geologia urbana significa anche riconoscere nel tessuto urbano i litotipi con cui sono state costruite le città, mettere in relazione quelle rocce con il substrato geologico locale, valutare le provenienze dei materiali utilizzati autoctoni o alloctoni, riconoscere *in loco* le cave da cui le rocce sono state cavate o, nel caso di provenienze lontane, ricostruire i percorsi di trasferimento dei materiali destinati all'uso urbano e conoscere la storiografia delle opere monumentali (Gregori, 2010).

Le murature urbane, sia quelle pregevoli dei monumenti più significativi di una città, sia quelle riguardanti le normali abitazioni o i meno nobili arredi urbani (muri di contenimento o marciapiedi) possono trasmettere, con la loro fattura, il paesaggio litologico locale naturale o indotto antropicamente, i processi geologici e morfogenetici che lo hanno coinvolto e modellato (Braga, 2005; Gregori, 2007; 2009).

Le pietre delle città, quindi, sono la memoria delle vicende geologiche e dei caratteri morfologici dei loro territori.

La Cartografia di Geologia Urbana

Tale cartografia tematica, che vede la sua prima esperienza per la città di Bologna (Le Pietre di Bologna; Del Monte, 2005), è presente anche all'interno delle linee di ricerca dell'Associazione

Italiana di Geologia e Turismo, si concretizza in Umbria nel Progetto Cartografico di Geologia Urbana (in collaborazione tra il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Perugia e l'Ufficio Informatico/Informativo: Geografico, Ambientale e Territoriale della Regione Umbria) finalizzato alla realizzazione di cartografie di questo tipo per le principali città dell'Umbria¹.

Le carte constano di una parte *Fronte* in cui è riportata la planimetria della città a scala dettagliata (1:3500; 1:5000) e, con apposita *legenda* (Fig.1), vengono trasferite le informazioni relative alle rocce utilizzate nell'edificato. L'allegata *chiave di lettura* (Fig.2) degli elementi cartografici guida il lettore nella visione e acquisizione dei contenuti, anche attraverso percorsi guidati e ubicazione di "punti di interesse" dove si concentrano più litotipi o situazioni di pregio.

Informazioni di carattere geologico generale (litotipi in affioramento, inquadramento geologico-geomorfologico, processi e forme, ecc.) permettono così di calare l'osservatore nel contesto geologico-ambientale della città. Il tutto è avvalorato da *zoom* di immagini dei monumenti, in cui la descrizione dei caratteri storico-artistici è incrementata dalla citazione dei litotipi rilevati (informazioni litologiche, bibliografiche, storiografiche, documentali, di archivio, ecc.). Il lavoro, infatti, nella sua esecuzione è preceduto da raccolta di dati bibliografici, riguardanti la geologia della zona, di dati storici e artistici, nonché dalla consultazione di documenti di archivio sul censimento di cave, dismesse o ancora presenti, che potrebbero aver fornito il materiale da costruzione. Nella parte *Retro* della carta, i singoli monumenti sono focalizzati a grande, media e piccola scala, con la descrizione delle rocce rilevate e immagini che consentano di acquisire le caratteristiche della roccia, fino al dettaglio anche paleontologico del singolo concio utilizzato.

I monumenti descritti, inoltre, sono organizzati all'interno di originali itinerari urbani che permettono di mettere in relazione i manufatti alle rocce delle formazioni geologiche e all'evoluzione ambientale della zona. In questa parte, sono riportate anche le immagini di sezioni sottili relative alle rocce presenti, con una descrizione sintetica delle loro caratteristiche mineralogico-petrografiche e del loro ambiente di formazione e sedimentazione. Dalla visione macroscopica del blocco squadrato di roccia o pezzo di muro urbano si passa, quindi, alla caratterizzazione microscopica della stessa roccia, attraverso un contesto linguistico tecnico reso, però, culturalmente accessibile.

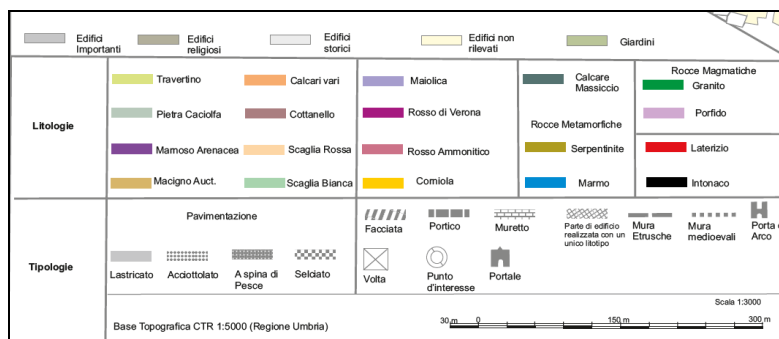


Figura 1 – Esempio di legenda della cartografia di Geologia Urbana.

La realizzazione della carta si basa sul rilevamento geologico che, di norma, il geologo compie in campagna sugli affioramenti, ma che in questo caso diventa "rilevamento in città". Si tratta di un "rilevamento a vista" che però risulta più difficile, perché ovviamente non ci si può avvalere delle usuali procedure di campionamento delle rocce (uso del martello da geologo per prelevare un

¹ Le cartografie sono state realizzate all'interno di tesi di laurea relativamente alle diverse città (Relatori: Prof.ssa Lucilia Gregori; Prof. Giampiero Poli)

campione fresco di roccia, da sottoporre all'esame ottico con lente o al microscopio in sezione sottile). Le superfici delle pietre messe in opera, inoltre, appaiono spesso mascherate dagli effetti dei naturali fenomeni di *weathering*, esaltati dalle conseguenze dell'inquinamento urbano e, quindi, dalla copertura di patine scure (croste nere) che ostacolano un facile e immediato riconoscimento delle rocce.

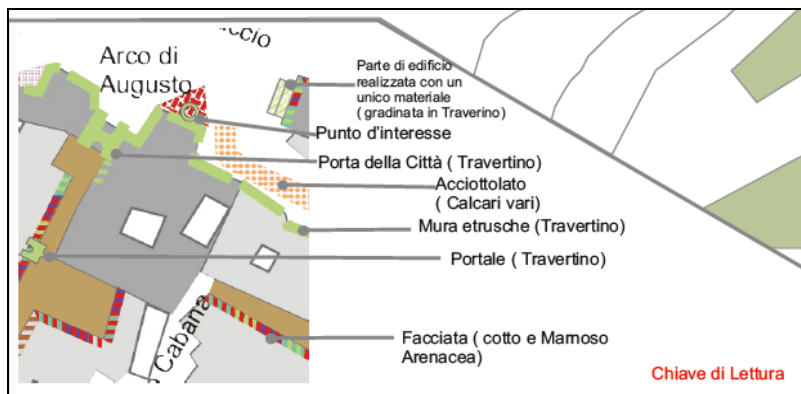


Figura 2 – Chiave di lettura della cartografia dell'acropoli di Perugia (Modanesi, 2009; Gregori, 2009).

Geologia Urbana in Umbria

La presenza in Umbria del grande "lago Tiberino" a partire dal Pliocene (*sensu* Lotti, 1926; Ambrosetti et al., 1987; Cattuto et al., 1992), all'interno della grande depressione tettonica del Bacino Tiberino (Pialli et al., 2009), ha attivato la genesi di ampi conoidi detritici al piede dei versanti e delta-conoidi alluvionali da parte di fiumi che, con il loro carico solido, hanno messo a disposizione i materiali da costruzione per mura e acciottolati di molte strade o piazze umbre. Le acropoli di Città della Pieve, Foligno, Spello e Montefalco testimoniano, con i depositi conglomeratici aggradati dai fiumi che hanno attraversato prima il loro territorio e poi contribuito al loro edificato, l'attività di queste grandi morfosculture fino in epoca storica. Città, pertanto, che nel passato sono state "città d'acqua" anche se, attualmente, ne hanno memoria solo attraverso i muri delle strutture pubbliche e private.

Le montagne calcaree dell'Appennino e le spesse fasce di depositi pedemontani cementati, infatti, hanno lasciato in eredità materia prima per la fattura di conci squadrati per i monumenti simbolo dell'Umbria come le cattedrali, gli acquedotti o i centri storici di Gubbio, Spoleto, Perugia, ecc.

I vulcani laziali, inoltre, che con la loro attività hanno coinvolto anche la parte meridionale dell'Umbria, hanno accumulato potenti coltri piroclastiche visibili, finemente cesellate, anche nei monumenti delle città del tufo nell'Umbria meridionale e nel Lazio settentrionale, come Orvieto, Civita di Bagnoregio, ecc.

La geologia delle città è una memoria storica geologica e geomorfologica che racconta le vicende del territorio circostante e costituisce un contenuto scientifico originale che, in genere, rimane confinato in ambito accademico. Tale approccio, invece, permette di confezionare un contributo cartografico assolutamente nuovo e originale nella comunicazione e divulgazione scientifica, con informazioni inattese all'interno di una frequentazione turistica e in particolare geo-turistica.

Il visitatore, infatti, sulla base anche degli *input* dell'usuale editoria turistica, acquisirà la storia e la storiografia dei monumenti e delle opere d'arte delle acropoli, ma durante una visita delle città, non porrà particolare attenzione ai materiali e alla tipologia di fattura edilizia. Solo qualche particolare litologico impattante potrà essere notato, come nel caso delle mura lungo il Viale degli Alpini a Verona, dove laterizio e ciottoli del F. Adige sono messi in opera alternati e con un motivo estetico molto scenico. Anche nella cittadina marchigiana di Penna S. Giovanni (Mc), ubicata sopra una

scheggia di depositi di *beach-rock*, al *top* di una *cuesta*, vistosi e ben conservati fossili di *Pecten* sono visibili, sia nelle mura urbane sia in alcuni tratti della pavimentazione urbana. Di norma, però, la roccia non viene percepita, appare un componente indifferenziato del tessuto urbano e non emerge nei suoi caratteri e, in particolare, nel legame tra tessuto urbano e substrato geologico locale. Le città dell'Umbria e dintorni sono litologicamente molto legate al loro territorio che rappresentano in modo evidente; materiali alloctoni sono, tuttavia, usati a fini decorativi (cippi e/o colonne in granito) e sono presenti, per esempio, sia di fronte al portale del Comune di Perugia, sia nella piazza sterrata di Civita di Bagnoregio. Il bacino inferiore della Fontana Maggiore di Perugia, denuncia con il bianco/grigio marmo di Marmara, importato dalla Turchia nel 1200 da Fra Bevignate, provenienze esotiche. Anche i semplici acciottolati delle strade o delle piazze sono la memoria di processi morfogenetici fluviali e, nella loro scelta litologica e composizione cromatica, sono uno spaccato dell'evoluzione geologica e morfologica del territorio circostante e delle pratiche e/o scelte edilizie del passato, dettate dall'opportunità di avvalersi, prevalentemente, di litotipi autoctoni. L'uso di materiale esotico, come graniti, marmi pregiati, ecc., riconoscibili nell'architettura interna o esterna di molte città, che non hanno tali litotipi nel loro substrato geologico, testimonia così le tradizioni e le mode dell'epoca, compatibili con la volontà di sviluppare e realizzare eccellenze monumentali nei luoghi usualmente abitati, al fine di creare strutture pregevoli da consegnare, come patrimonio e valore architettonico, alle future generazioni. Il diverso colore delle rocce, inoltre, è utilizzato, con oculata scelta, sia nelle murature sia nelle pavimentazioni e, in ogni caso, sono memoria di processi morfogenetici. Gli acciottolati delle nostre città (da Spello a Todi o da Bergamo a Catania), testimoniano storie diverse: i fiumi provenienti dalle montagne alpine hanno messo a disposizione clasti di diversa natura, vista l'eterogeneità dei bacini di alimentazione fluviali e/o glaciali, mentre la scura Catania racconta il forte legame tra tessuto urbano e attività vulcanica. Le città dell'Umbria, invece, si avvalgono spesso del materiale clastico solido elaborato dai fiumi diretti verso le "conche intermontane" umbre. L'usuale approccio turistico alle città, però, disattende questi contenuti e nei percorsi organizzati a piedi o nei sempre più frequenti percorsi in *city-bus*, le spiegazioni proposte rimangono confinate alle descrizioni architettoniche e alle informazioni storiche delle vicende legate alla vita e all'evoluzione storica delle città.

La Geologia urbana, invece, entra nel tessuto urbano, rileva e identifica le rocce, racconta attraverso una cartografica tematica assolutamente nuova e originale (Gregori, 2010), in formato cartaceo e digitale, la storia geologica della città e dell'ambiente in cui è collocata e fornisce contenuti che arricchiscono, in modo significativo, la conoscenza del turista che acquisisce informazioni alle quali non avrebbe potuto accedere, se non tramite un improbabile o difficile approccio accademico.

La memoria geologica del tessuto urbano dell'Umbria e dintorni

Il territorio umbro, complesso e articolato (AA.VV., 1994) all'interno di una superficie abbastanza contenuta, coinvolge realtà geologiche e morfologiche molto differenziate, in virtù della sua evoluzione paleogeografica che ha messo in posto rocce diverse in ambiti fisici ben definiti.

Il sollevamento delle anticlinali calcaree e il modellamento delle sinclinali arenacee si evincono anche dalla tipologia edilizia delle abitazioni delle città, collocate lungo le dorsali calcaree dei rilievi umbri o nelle depressioni tettoniche tra essi comprese. Gubbio, Gualdo Tadino, Costacciaro, Spoleto, ecc. sono le città che recano l'impronta litologica dei massicci calcarei dello spartiacque appenninico, mentre Arezzo, Cortona, Città di Castello, ecc. testimoniano le rocce arenacee silico-clastiche delle sinclinali della Val di Chiana e dell'Alta valle del F. Tevere.

Conci realizzati in rocce delle Formazioni del Calcare Massiccio, della Scaglia Bianca e Scaglia Rossa o del Rosso Ammonitico sono, infatti, presenti nelle strutture monumentali più nobili (Palazzo dei Consoli) di Gubbio o di Gualdo Tadino, mentre l'edificio di Arezzo Cortona, Siena, ecc. si avvale prevalentemente delle arenarie e calcareniti (Marnoso-Arenacea), della pregevole fattura in laterizio legata alla presenza di argille, abbondanti nei bacini lacustri della Chiana o dei travertini, depositi copiosi dalle acque ricche di carbonati della Val d'Elsa.

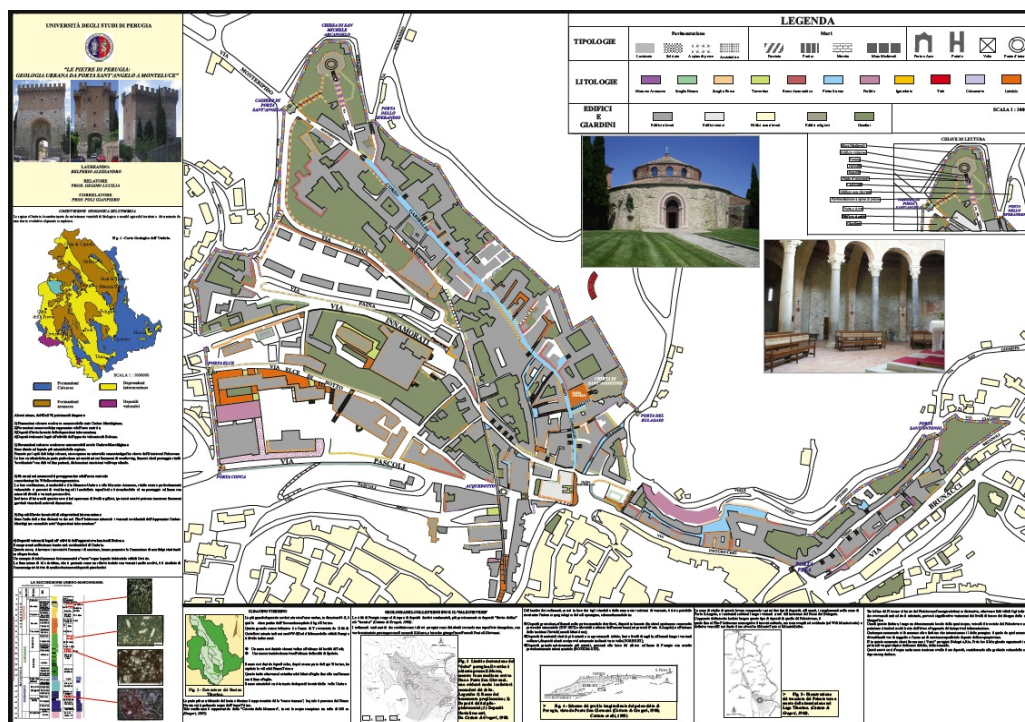


Figura 3 – Cartografia di Geologia Urbana riguardante il Rione di Porta S. Angelo a Perugia (Belpeiro, 2008).

Le acropoli di Perugia (Fig.3) e Città della Pieve, Foligno, Montefalco, ecc., città ubicate al *top* di rilievi sventanti sulle vallate o sulle depressioni tettoniche ombre, si arroccano su depositi incoerenti ciottolosi relativi ai conglomerati sommitali di antichi paleodelta che sfociavano in mare o nel grande bacino tiberino pliocenico dell'Umbria e ne recano, pertanto, memoria nel tessuto edilizio. Ciottoli allineati, alternati a laterizio, interi o dimezzati sono il *leit-motiv* delle mura di Città della Pieve, mentre emergono in numerosi affioramenti all'interno dell'acropoli perugina, lungo i tagli stradali, entro scavi e nei monumenti etruschi, come nel Pozzo Etrusco al *top* dell'acropoli o all'interno dell'Ipogeo dei Volumni, presso Ponte S. Giovanni alla base del colle di Perugia.

Il travertino, come materiale alloctono, è diffusamente usato nel centro storico perugino e negli antichi monumenti etruschi (l'Arco Etrusco e l'imponente muro etrusco, recentemente rinvenuto e restaurato sotto la cattedrale di S. Lorenzo) e ricavato, prevalentemente, da affioramenti presso Perugia (S. Sabina), lungo le strutture calcaree della Valle Umbra nei M. Martani (Grutti, S. Terenziano, Pale) o nella porzione meridionale dell'ex-lago Tiberino (Marmore, Acquasparta, ecc.). Analogamente, l'edificato delle città del tufo (Chiattini, 2010; Gregori, 2011), nell'area più meridionale dell'Umbria, passa senza soluzione di continuità cromatica e litologica al substrato costituito dai materiali dell'apparato di Bolsena. Orvieto, Lubriano, Civita di Bagnoregio, ecc., al confine Umbria-Lazio. Tali siti urbani testimoniano, con la loro organizzazione lito-cromatica, eventi paleo-ambientali abbastanza impattanti sotto il profilo morfogenetico, la cui attività nella loro dinamica non emerge culturalmente, durante la visita a questi centri storici (Fig.4).



Figura 4 – Cartografia di Geologia Urbana della “rupe” di Orvieto. Le rocce vulcaniche sono le protagoniste in questo edificato che racconta l’attività dell’apparato di Bolsena (Chiattini, 2010).

Si tratta, quindi, di eventi geologici esclusivi rispetto al resto del territorio e che hanno permesso la realizzazione di un *unicum* sotto il profilo litologico e antropico. L’importanza morfologica della manifestazione vulcanica di Bolsena (Peccerillo, 2005) e le successioni piroclastiche delle ripetute eruzioni, che hanno modificato la preesistente topografia, rappresentano un contenuto culturale che, se opportunamente comunicato e divulgato, costituisce un’informazione scientifica che può essere molto apprezzata e che incrementa il valore delle escursioni nei *luoghi del tufo*.

Le carte dell’Umbria

Le carte finora realizzate, per il Progetto Cartografico dell’Umbria, sono relative ai centri storici di Perugia (4 carte), Assisi, Foligno, Todi, Spoleto, Spello, Città di Castello, Norcia, Narni e sono *in itinere* gli elaborati di Gubbio e dei comuni del Lago Trasimeno. L’ambiente vulcanico che accomuna sotto l’aspetto paleogeografico e morfologico il territorio a confine tra Umbria e Lazio, si evince da analoga cartografia realizzata per l’area di Orvieto e di Viterbo.

Ne emerge una documentazione dettagliata della geologia di città molto differenziate che fanno capo ad ambienti litologici geneticamente diversi, talora però con uso comune di alcuni materiali.

La “pietra caciolfà” (M. Martani), per esempio, è un’arenaria finissima molto presente nelle decorazioni di facciate e portali di palazzi importanti poiché ben lavorabile e, altrettanto trasversale l’uso del “cottanello”, un litotipo riconducibile all’attività di una faglia trascorrente nell’area di Terni (loc. Cottanello-Rieti). Si tratta una roccia variegata, di grande effetto cromatico che, esteticamente ben si presta, sotto il profilo scenico, alla base delle colonne o negli stipiti di portali di molti monumenti e chiese umbre (Spello, Perugia, ecc.).

Perugia, come accennato, presenta un ampio uso del travertino, mentre la natura del suo substrato conglomeratico, messo in posto dall’aggradazione dell’antico paleo-delta del F. Tevere, si evince

sotto le mura medievali della città. Le cinture murarie etrusche interne, di Perugia sono realizzate in Travertino, mentre quelle esterne medioevali sono in Arenaria, come la maggior parte delle strutture abitative.

Travertino, Marnoso Arenacea, Rosso Ammonitico, ecc. sono alcune delle rocce delle Formazioni della Serie Umbro-Marchigiana dell'Appennino umbro (AA.VV., 1994) e sono tutte presenti nella litologia delle città. In particolare, nelle rocce della Fontana Maggiore di Perugia si condensano antica fattura e restauro recente, materiale autoctono e alloctono, storia della città e riferimenti geologici, con la particolarità (non nota), di un solo specchio del bacino superiore realizzato, appunto, in Cottanello.

Anche la città Spoleto si trova sopra a un paleo-conoide, ma il tessuto urbano e i monumenti simbolo, come il Duomo o l'acquedotto del Ponte delle Torri, testimoniano l'origine calcarea dei monti (che chiudono verso sud, le evidenze morfologiche dell'antico Lago Tiberino) e la presenza di estese fasce pedemontane.

La città di Foligno, distesa sull'ampio conoide del F. Topino, racconta del ruolo morfologico di questa grande morfoscultura attraverso le mura storiche realizzate in ciottoli fluviali, mentre grandi blocchi di breccia pedemontana sono stati utilizzati in molte strutture edilizie, anche di non facile esecuzione (capitelli e colonne). I materiali conglomeratici si rinvengono sia in superficie sia sotto il tessuto urbano folignate, dove i depositi di antichi corsi fluviali, che alimentavano il conoide, e le fondamenta dei palazzi si integrano fisicamente, per la comprensione di quanto la storia umana sia stata condizionata da quella morfologica dell'antico apparato fluviale.

Rocce delle Formazioni della Scaglia Bianca e Scaglia Rossa si alternano, con un noto e scenico ritmo lito-cromatico, nelle acropoli di Assisi e Spello. Entrambe sono contestualizzate al rilievo del M. Subasio, lungo il cui versante occidentale e meridionale sono ubicate le città. Le rocce del grande massiccio calcareo si evincono da tutto il fabbricato antico e moderno e, porzioni di tessuto urbano solidali con gli strati delle formazioni citate o la presenza tangibile di cave attive e dismesse, testimoniano il tradizionale e perenne legame tra roccia e edificato in questi luoghi (Fig.7).

La città di Norcia, ubicata nella porzione distale del conoide del F.so Patino, a ridosso dell'omonima struttura, fa riferimento edilizio ai calcari e alle breccie cementate abbondanti alla base dei versanti dell'area dello spartiacque appenninico e dei Sibillini (M. Patino, M. Vettore, ecc.).

Città di Castello, invece, ubicata nell'alta valle del F.Tevere a ridosso dei rilievi dell'Appennino settentrionale, rappresenta l'omogenea e quasi monotona concretizzazione litologica e cromatica delle rocce arenacee che limitano la conca intermontana più settentrionale dell'Umbria.

Esempi in Umbria

Foligno

Come accennato, la città di Foligno si trova sopra al paleo-conoide del F. Topino, nella valle Umbra e, pertanto, l'edificato utilizza rocce, prevalentemente calcaree, della Serie Umbro-Marchigiana dell'Appennino umbro e i materiali clastici della pianura alluvionale e del conoide stesso (Fig.5; Gregori, Beddini, 2011). La cartografia, relativa all'acropoli, è uno strumento di comunicazione della litologia della città e della sua evoluzione paleo-geografica, in relazione ad una morfoscultura i cui caratteri non sono noti, né apprezzabili fisicamente.



Figura 5 – Esempio di trasferimento dei dati litologici dal monumento alla carta: visione d'insieme e dettaglio del portale della chiesa di S. Giacomo, dove si riconoscono le rocce della Formazione della Scaglia Bianca e del Rosso Ammonitico della Serie Umbro-Marchigiana dell'Appennino umbro. Segue la rappresentazione planimetrica della carta di Geologia Urbana della città di Foligno e dettaglio della stessa, nella quale si evincono, attraverso la grafica e i colori, la tipologia edilizia e il litotipo utilizzato (Gregori & Beddini, 2011; foto Beddini).

Todi





Figura 6 – Planimetria dell'acropoli di Todi nella cartografia e dettaglio della rappresentazione di Geologia Urbana. Dalla visione d'insieme alla roccia calcarenitica con la quale la facciata della Chiesa di S. Fortunato è edificata e, finemente scolpita, nel colonnato del portale (Gregori & Pigini, 2011; foto Pigini).

L'acropoli tuderte (Fig.6), edificata al *top* di un rilievo monoclinale di rocce clastiche fluvio-lacustri usa, per il suo edificato, materiali dei rilievi circostanti come rocce calcaree *s.l.*, travertino e laterizio. Le argille abbondano nella zona, come evidenza litologica della porzione meridionale del ramo occidentale del lago Tiberino che si chiudeva a sud di Todi prima di aprirsi un varco verso il mare pliocenico, attraverso la Gola dal Forello: informazioni paleogeografiche della zona che emergono dalla cartografia e da una diversa lettura dei monumenti e della loro litologia (Gregori, Pigini, 2011).

Assisi

L'effetto lito-cromatico di Assisi si basa sui colori delle rocce locali e del Rosso di Verona, usato anche in molte altre città Umbre.



Figura 7 – Rappresentazione planimetrica del tessuto urbano dell'acropoli di Assisi costruita in prevalenza in rocce della Scaglia Bianca e Scaglia Rossa, presenti nel M. Subasio e, spesso nella città, gli strati della roccia affiorano direttamente sotto le mura urbane (Cherubini, 2008; foto L. Gregori).

Conclusioni

Queste sono alcune delle "storie geologiche" trasmesse dalle cartografie di Geologia urbana, che rappresentano contenuti delle scienze della terra che, normalmente, non sono acquisiti. Ciò che emerge dall'osservazione delle pietre delle città, infatti, è un valore non noto e generalmente disatteso.

Questo tipo di cartografia, pertanto, deve comunicare, nel suo insieme, le informazioni litologiche urbane e il contesto ambientale delle città. Il monumento viene visto nella sua completezza e poi nei dettagli delle rocce che costituiscono gli elementi architettonici, con una rappresentazione cartografica che, in generale e nel particolare, fornisce una visione originale delle acropoli.

La *ragione geologica* del tessuto urbano delle acropoli è un *valore aggiunto* alla loro frequentazione, ma del quale il viaggiatore non può approfittare, se non opportunamente guidato e informato. La consultazione di questo tipo di cartografia permette, pertanto, di incrementare il *target* culturale dell'approccio turistico che diventa così geo-turistico e attiva un indotto turistico-culturale di grande peso nella valorizzazione e promozione dei territori.

Bibliografia

- AA.VV. (1994), "Guide Geologiche Regionali. 15 itinerari - Appennino Umbro-Marchigiano", a cura della Soc. Geol. It., 7, 301pp., BE-MA editrice
- Del Monte M. (2005), "Le Pietre di Bologna. Litologia di una città", Carta alla scala 1: 3500; Comune di Bologna, Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia, Regione Emilia e Romagna, Editore Servizio Geologico, Sismico dei Suoli, carta fronte/retro piegata
- Ambrosetti P., Carboni M.G., Conti M.A., Esu D., Girotti O., La Monica G.B., Landini B., Parisi G. (1987), "Il Pliocene e il Pleistocene inferiore del bacino del F. Tevere nell'Umbria meridionale", *Geogr. Fis. e Dinam. Quat.*, 10: 1, 10-33, 21 ff., 1 tav. f.t.
- Braga G. (2005), "Le pietre da costruzione naturali della città di Padova. Passeggiate tra arte e geologia", CLEUP, Padova, 63pp
- Cattuto C., Cencetti C., Gregori L. (1992), "Il Plio-Pleistocene nell' area medio-alta della valle del F. Tevere: possibile modello morfotettonico", *Studi Geol. Camerti. Vol. spec.*, 1: 103-108
- Cherubini R. (2010), "Le pietre di Assisi", Tesi di laurea inedita, (relatori: Prof. Lucilia Gregori, Prof. Giampiero Poli, A.A 2009/10
- Chiattini F. (2010), "Le pietre di Orvieto: città del tufo", Tesi di laurea inedita, A.A 2009/10, (relatori: Prof. Lucilia Gregori, Prof. Giampiero Poli)
- Gregori L. (2007), "La "memoria" geologico-geomorfologica in alcune città dell'Umbria e dintorni attraverso i materiali dell'antico edificato urbano", *Il Quaternario*, 2: 19, 267-276, 0394-3356
- Gregori L. (2009), "Geologia urbana. Le pietre raccontano...", *La Cartografia, Periodico di informazione cartografica*, Bonomo Editore, LAC- Firenze, n. 21, 22-47
- Gregori L. (2010), "Cartografia di "Geologia Urbana" in Umbria: nuovo strumento di comunicazione scientifica", *Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia*, n.138, 327-335, ISSN 0044-9733
- Gregori L., Beddini G.(2011), "Le pietre di Foligno per una fruizione turistica", *Atti 5° Conv. Internaz. I paesaggi del vino⁵. Il paesaggio tra reale e virtuale*, Nuova Prhomos - Città di Castello, 205-217, 978-88902648-5-6
- Gregori L., Pigni E. (2011), "Le pietre di Todi: un'opportunità geoturistica", *Atti 5° Conv. Internaz. I paesaggi del vino⁵. Il paesaggio tra reale e virtuale*, 239-291, Nuova Prhomos - Città di Castello, 978-88902648-5-6
- Gregori L. (2011), "Civita di Bagnoregio La "città che muore": paleogeografia e storia di un Geomorfosito", *La Cartografia, Periodico di informazione cartografica*, Bonomo Editore, LAC - Firenze, n.27, 26-46, ISBN 9 788879 149976 00027
- Lotti B. (1926), "Descrizione geologica dell'Umbria", *Mem. Descr. Carta Geologica d'Italia*, 21 pp., 65 ff.
- Modanesi S. (2008), "Le pietre di Perugia: un esempio di Geologia Urbana", Tesi di laurea inedita, A.A 2008/09, (relatori: Prof. Lucilia Gregori, Prof. Giampiero Poli)
- Peccerillo A. (2005), "Plio-Quaternary volcanism in Italy", *Petrology, Geochemistry, Geodynamics*. Springer, Heidelberg, 365 pp.
- Pialli G., Plesi G., Damiani A.V. & Brozzetti F. (2009), "Note Illustrative della carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 Città di Castello", Regione Umbria Serv. Geologico - ISPRA, 133pp.

Sperimentazione di corner per banda X nel monitoraggio di colate di terra lente con COSMO SkyMed¹

Christian Iasio (*), Alessandro Corsini (**), Volkmar Mair(***),
Stefan Schneiderbauer (*), Andrea Tamburini (****)

(*) EURAC, Istituto per il Telerilevamento Applicato, Via Esperanto 3, 39100 Bolzano, Italia
Tel. +39 0471 055387, Fax +39 0471 055389, christian.iasio@eurac.edu, stefan.schneiderbauer@eurac.edu
(**) Univ. di Modena e Reggio Emilia, Dip. Scienze della Terra, Largo S. Eufemia 19, Modena, 41100 Italia
Tel. +39 059 2058260, Fax +39 059 2055887, alessandro.corsini@unimore.it
(***) Provincia di Bolzano, Ufficio Geologia e Prove materiali, Via Val d'Ega 48, 39053 Cardano (BZ), Italia
Tel. +39 0471 361510, Fax +39 0471 361512, Volkmar.Mair@provinz.bz.it
(****) TeleRilevamento Europa T.R.E., Ripa di Porta Ticinese 79, 20143 Milano, Italia
Tel. +39 02 4343121, Fax +39 02 43431230, andrea.tamburini@treuropa.com

Abstract

Nell'ambito delle attività di ricerca previste dal progetto LAWINA per il monitoraggio della Frana di Corvara, finanziato dall'Agenzia Spaziale Italiana e realizzato dall'Istituto di Telerilevamento Applicato dell'EURAC e dall'Ufficio di Geologia della provincia Autonoma di Bolzano, si stanno conducendo misure di spostamento del terreno attraverso l'uso della banda X del COSMO SkyMed CSK®, satellite radar ad alta risoluzione che permette di riconoscere anche velocità di pochi millimetri/anno.

Dopo i primi 6 mesi di acquisizione delle immagini è stato possibile verificare la quantità e la distribuzione di riflettori naturali utilizzabili come "*Persistent Scatterers*". Si è così evidenziata la necessità di integrare i punti di misura al suolo attraverso l'installazione di alcuni riflettori (*Corner Reflectors*, CRs), adatti ad essere riconosciuti e marcati ai vari passaggi del CSK®.

Per essere sicuri di poter descrivere gli spostamenti significativi che avvengono nei diversi settori della frana con l'affidabilità necessaria a supportare eventuali iniziative di pianificazione e di messa in sicurezza, sono stati analizzati i dati di monitoraggio di superficie e sottosuolo già prodotti durante precedenti studi, e decise le aree più meritevoli di specifiche misurazioni. In totale sono stati individuati 17 punti di controllo.

Poiché l'area della frana è in gran parte utilizzata da turisti invernali, dove possibile sono stati impiegati i CRs convenzionali per la banda C, ma nella gran parte dei casi, si è ritenuto più sicuro utilizzare riflettori radar nautici, più piccoli e leggeri, che sono stati installati in prossimità di baite o altri manufatti, fuori dalle piste da sci.

Attualmente si stanno acquisendo le ultime immagini che contengono i segnali riflessi dai CRs presenti sulla frana. Il contributo fornisce una valutazione preliminare della sperimentazione di tali CRs utilizzati al posto di stazioni GPS *rover* per il monitoraggio continuo della frana, dei quali è stata già condotta un'analisi dell'ampiezza del segnale riflesso.

¹ COSMO SkyMed o CSK® è un marchio registrato da ©ASI Agenzia Spaziale Italiana. Tutti i diritti riservati.

LAWINA is a research project for monitoring Corvara in Badia (BZ, Italy) landslide, funded by Italian Space Agency ASI and realized by EURAC Institute for Applied Remote Sensing and Autonomous Province of Bolzano. Among the research activities envisaged in this context, ground displacement measurement are performed by mean of COSMO SkyMed CSK®, a radar satellite providing high resolution X-band data, ables to observe displacement starting from few millimeters/year.

After 6 months of X-band data acquisition, an early multi-interferometric analysis allowed to know the amount and distribution of natural scatterers recognized as "Persistent Scatterers". The early product revealed that some corner reflectors (CRs) suitable for X-band had to be installed in the area of interest in order to receive sufficient data to achieve the envisaged aims of the project.

To ensure that the monitoring activity would provide new and relevant information for each part of the landslide, the CRs placement was defined on the base of previous geological studies. This analysis suggested the installation of 17 artificial reflectors at more representative locations for the understanding of the landslide dynamics.

Corvara in Badia hosts ski routes among the most famous in the Dolomites, including those situated on the landslide surface. The presence of multitude of tourists performing winter activities in the area of interest, forced to install 2 different types of CR: conventional C-band reflectors were installed on non-touristic areas, whereas smaller reflectors, usually installed on boats, were placed near huts or other features related with ski facilities, out of the ski tracks.

The research project is still in progress, and the CSK® sensor is recording a number of X-band images showing the CRs positions during approximately 9 months, including snow cover period. This contribution represent a preliminary evaluation of the experiment for continuous landslide monitoring by means of CRs instead of GPS rover stations, completed by an early X-band scattering amplitude assessment.

Introduzione

Nell'ambito del progetto LAWINA (ASI CSK AO#2163), finanziato quale progetto dimostrativo promosso da ASI con l' "Announcement of Opportunity" ASI COSMO-SkyMed (ASI, 2007) finalizzati all'analisi delle applicazioni civili e scientifiche della missione COSMO SkyMed, è stato implementato un nuovo sistema di monitoraggio delle deformazioni superficiali di un versante di 4,5 Km² ca. nei pressi dell'abitato di Corvara in Badia (Dolomiti, Provincia di Bolzano) interessato da fenomeni franosi complessi a cinematica lenta. Per sfruttare le capacità del sensore SAR a banda X del COSMO SkyMed è stata scelta la tecnica multi-interferometrica basata su riflettori persistenti (Persistent Scatterer Interferometry - PSI) (Crosetto et al., 2005).

Il principale tra i fenomeni franosi che interessano il versante oggetto di indagine è la frana di Corvara (Corsini et al., 2001), che può essere riferito a scivolamenti e colate di terra che coinvolgono i prodotti di disaggregazione di formazioni geologiche a carattere torbiditico, caratterizzate dall'alternanza tra strati argillitico-marnosi e strati arenitici e calcarenitici. Dal punto di vista morfologico, la frana si compone di ben distinti settori di alimentazione, trasporto ed accumulo. In alcuni di tali settori, i fenomeni gravitativi hanno attualmente attività limitata o sono quiescenti mentre in altri sono attivi su superfici di scorrimento multiple, site fino ad oltre 30 m in profondità. L'asse maggiore della frana è lungo più di 3,3 km mentre la sezione di trasporto più larga misura all'incirca 300 m. Gran parte del movimento avviene per spostamenti traslativi alimentati da colate attive più superficiali, che giungono principalmente dai settori più alti. Queste colate sono avanzate in modo consistente negli ultimi anni, con valori di spostamento nel periodo 2001-2010, come risulta da monitoraggio GPS periodico di una serie di capisaldi posti sul corpo di frana, di massimo di 3 m/anno in alcune zone dell'area sorgente e del canale di transito e minimo di 10 cm/anno in alcune zone del piede. Nonostante ciò, l'unghia del piede della frana, che si pone a ridosso dell'abitato di Corvara, non è in fase di avanzamento, in relazione al fatto che, presumibilmente, essa è costituita dall'accumulo di altri antichi corpi franosi che hanno ormai esaurito la loro attività (Corsini et al., 2001; Corsini et al., 2005; Panizza et al., 2006).

L'estensione e le caratteristiche morfologiche e dinamiche della frana, hanno suggerito di concentrare in quest'area la sperimentazione, nell'ambito del progetto LAWINA, di tecniche di analisi PS-InSAR basate su dati radar in banda X ad alta risoluzione, anche attraverso l'uso di Corner Reflectors (CRs) opportunamente installati sul corpo di frana.

Per l'analisi delle deformazioni gravitative a scala regionale, i PS sono in genere costituiti da scatteratori "naturali" e non occorrono particolari studi preliminari sulle condizioni dei luoghi oggetto di analisi (fra gli altri, Allievi et al. 2003; Meisina et al., 2006). Se l'indagine si limita a singoli fenomeni, sono necessarie valutazioni tecniche a priori per valutare l'adeguatezza strumentale e metodologica del sistema che si intende adottare, partendo dai parametri ambientali e dal comportamento spaziale e temporale atteso dal processo di deformazione (Hanssen, 2005).

Lo studio descritto in questa nota, si è in particolare concentrato sulla localizzazione ottimale di CRs e sull'individuazione della migliore geometria di acquisizione di CSK® per controllare in modo accurato la frana di Corvara, al fine di sostituire, o almeno integrare, il monitoraggio basato su GPS con questo sistema.

Tenuto conto della durata di soli 2 anni del progetto e della difficoltà di condurre elaborazioni PSI con un pacchetto di acquisizioni inferiori a 15 scene (Colesanti et al., 2003 a,b), i fattori limitanti per l'impiego della tecnica PSI nel contesto geomorfologico e ambientale tipici di queste zone alpine sono stati stimati a priori, sulla base di rilevamenti delle caratteristiche superficiali e di censimenti dei manufatti antropici condotti *ad hoc* nell'area di interesse, e grazie alla caratterizzazione della frana prodotta in passato dalla Provincia Autonoma di Bolzano in collaborazione con il Dip. di Scienze della Terra dell'Università di Modena e Reggio Emilia.

I risultati preliminari di questa esperienza permettono di definire criteri di stima dell'adeguatezza e della significatività del monitoraggio basato su PSI in zone con simili caratteristiche, linee guida per l'implementazione di sistemi di monitoraggio delle deformazioni del terreno basati su tecniche SAR multi-interferometriche in aree alpine e una check-list per il relativo studio di fattibilità, che non deve riguardare solo gli aspetti di tipo fisico, ma anche le difficoltà logistiche dovute alle attività economiche che si esercitano nell'area di interesse e alle condizioni climatiche estreme che si possono verificare in inverno. Inoltre viene discusso cosa sia possibile fare prima e durante il periodo di acquisizione delle immagini SAR, per assicurarsi che i riflettori mantengano un orientamento costante verso il sensore CSK®.

A) Analisi preliminare dei possibili problemi geometrici di visibilità del sensore CSK e della componente di movimento rilevabile in LOS.

A.1) Questioni e soluzioni

Il lavoro di ricerca e monitoraggio condotto in passato sulla frana, principalmente attraverso la cartografia geomorfologica e l'uso di sistemi inclinometrici e GPS (Panizza et al., 2006), ha permesso di acquisire una serie di conoscenze inerenti le caratteristiche del fenomeno franoso di Corvara all'avvio del progetto. Tali dati e conoscenze, integrate da dati morfometrici derivanti da DEM ad alta risoluzione, sono stati impiegati per valutare se e quali spostamenti fossero riconoscibili tramite l'analisi multi-interferometrica dei dati in banda X del CSK forniti da ASI. Per risolvere questo primo punto sono state condotte due analisi.

Per tenere conto dei possibili problemi geometrici di visibilità del sensore CSK® (*foreshortening*, *shadowing* e *layover*) sono stati esaminati l'orientamento e la pendenza delle superfici già note come attive e quiescenti. A tal proposito sono stati utilizzati i perimetri delle aree in movimento e un modello digitale del terreno derivato da dati LIDAR con risoluzione di 2.5m, comparabile con quella di 3m delle immagini CSK® Stripmap HIMAGE previste per il progetto.

Per comprendere se il comportamento già noto della frana fosse adeguatamente correlato con la sola componente di spostamento visibile lungo la LOS, si è fatto uso di misure GPS prese su circa 50 punti per 10 anni, e si è tenuto conto dell'angolo di vista del satellite (LOS) in azimuth e angolo d'incidenza. Poiché il sensore CSK® è montato su una piattaforma che può essere orientata secon-

do diverse inclinazioni nel piano di azimuth della LOS, questo tipo di analisi è utile a individuare quale sia l'angolo nadirale più idoneo per la stima delle componenti di spostamento di maggiore interesse per l'analisi della frana. Infatti, la frana in oggetto è composta anche da settori in cui la componente orizzontale di spostamento è dominante nel processo di deformazione traslativo: il materiale accumulato su superfici più ampie e meno inclinate lungo il versante, può venire spinto da monte verso il bordo opposto, con rigonfiamenti limitati o assenti a causa della scarse qualità reologiche dei terreni mobilizzati (Corsini et al., 2005).

A.2) Risultati

Poichè l'analisi della componente orizzontale è determinante per comprendere correttamente la dinamica della frana di Corvara, sono state analizzati gli effetti di distorsione geometrica per angoli d'incidenza superiori a quelli generalmente utilizzati con questo sensore. La figura 1. mostra la distribuzione e la tipologia delle distorsioni prospettiche SAR prodotte nell'area della frana dal *beam* 14_H4 del CSK® in orbita discendente, corrispondente ad un angolo di azimuth di 6,75° e angolo d'incidenza al centro della scena 45,77°. Questa geometria, nonostante l'elevato angolo di ripresa, nell'area produce solo molto limitate zone di *shadowing* e *layover*, mentre quelle in *foreshortening* risultano in genere a bassa inclinazione.

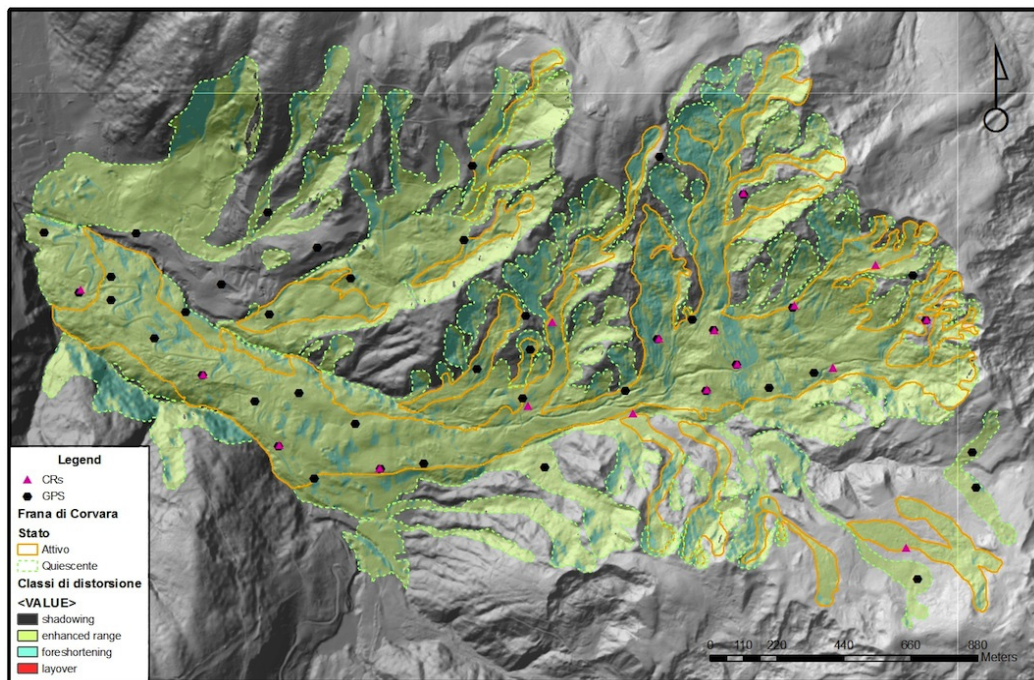


Figura 1 – Rappresentazione delle distorsioni prospettiche prodotte dal *beam* 14_H4 del CSK®, impiegato per l'acquisizione dei dati in banda X della frana di Corvara. Oltre al perimetro delle aree attive e quiescenti si distinguono anche le posizioni dei punti di monitoraggio GPS e quelli in cui sono stati installati i CRs del progetto LAWINA.

L'analisi dei dati GPS misurati negli ultimi 10 anni dalla provincia di Bolzano, ha rivelato che gli spostamenti avvengono per lo più fra i 180° e i 340° e che gran parte di essi scorrono quasi paralleli all'azimuth della LOS dell'orbita discendente del CSK®, mentre l'entità di spostamento descritta lungo la LOS corrisponde a ca. il 68% dello spostamento complessivo sul piano orizzontale (fig. 2 a,b).

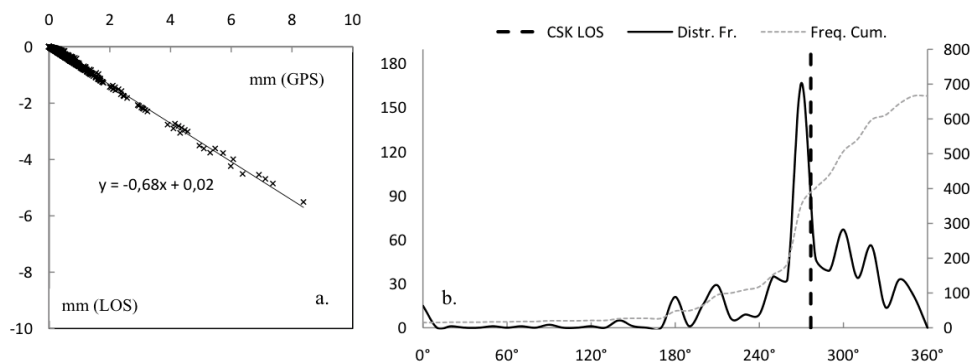


Figura 2 – Analisi del comportamento dei diversi settori che compongono la frana, secondo le misure effettuate su tutti i punti monitorati con GPS durante gli ultimi 10 anni. a. Relazione fra lo spostamento 2D reale e quello misurabile in 1D lungo la LOS. b. Relazione fra direzione degli spostamenti prevalenti sulla frana e l'azimuth della LOS scelta per il progetto LAWINA.

B) Analisi dei potenziali scatteratori persistenti SAR

B.1) Questioni e soluzioni

Per avere una prima stima della presenza di oggetti capaci di rispondere come PS al segnale radar, sono state osservati i dati contenuti nel Piano Straordinario di Telerilevamento (PST-A) e sono stati elaborate scene RADARSAT e 35 ENVISAT.

La parte più alta dell'area di interesse è ricoperta da prati in cui è più difficile trovare riflettori naturali, come grossi blocchi o affioramenti di roccia. Qui sono presenti numerose piccole baite con caratteristiche costruttive che possono influenzare notevolmente la loro risposta al segnale radar:

- la dimensione,
- l'orientamento delle falde del tetto,
- il materiale di rivestimento del tetto,
- la presenza di oggetti altamente riflettenti, come comignoli di metallo o pannelli solari,
- la condizione della struttura, che può talvolta essere molto degradata,
- il tipo di fondazione.

Le prime quattro caratteristiche condizionano la possibilità che questi manufatti riflettano opportunamente il segnale del CSK®, mentre le ultime devono essere tenute in considerazione, qualora una baita corrisponda ad un PS, onde assicurarsi che le deformazioni rilevate in quel punto siano legate effettivamente al terreno e non a cedimenti della struttura stessa, senza alcuna relazione lineare con movimenti del terreno. Per tenere conto di questo aspetto, tutte le baite presenti nel perimetro di frana sono state censite, rilevandone la posizione e le caratteristiche menzionate sopra.

B.2) Risultati

La consultazione del PST-A attraverso il sito <http://www.pcn.minambiente.it/viewer/index.php> ha permesso di apprezzare la quantità e la velocità LOS di PSs ottenuti da scene ERS ed ENVISAT di orbite ascendenti e discendenti. Si è constatata l'assenza di PS derivati da orbite ascendenti, mentre erano solo scarsi quelli delle orbite discendenti. Nell'area più alta della frana si sono riconosciuti alcuni piloni degli impianti di risalita (seggiovie e cabinovie presenti nella zona soprattutto per servire i turisti della stagione sciistica) posizionati, per lo più, su speroni di roccia più stabili.

L'analisi PSI delle immagini SAR storiche è stata realizzata *ad hoc* per il progetto, utilizzando l'algoritmo SqueeSAR™ della TeleRilevamento Europa (Ferretti et al., 2010), su scene di orbite discendenti, acquisite nel periodo compreso fra il 6/1/2003 e il 6/9/2010 da ENVISAT, e fra il 25/3/2003 e il 9/3/2006 da RADARSAT. L'elaborazione dei dati SAR storici ha restituito un numero di PS maggiore di quello riscontrato nel PST-A e ancor più consistente è stato l'incremento otte-

nuto dall'elaborazione delle prime 18 immagini CSK, realizzata a Dicembre 2010 con immagini riprese fra Maggio e Novembre (fig. 3).

ENVISAT		RADARSAT-1	COSMO-SkyMed
orbit		Descending	
polarization		HH	
mode	Stripmap IS2	Single S3	Stripmap Himage
risoluzione	30m	25m	3m
incidence angle	24.27	34.05	45.77
n. of images	35	40	18
time interval	6/1/2003 - 6/9/2010	25/3/2003 - 9/3/2006	24/5/2010 - 16/11/2010
mean time int.	70 days	24 days	8 days
AOI ext.		51 km ²	
PS processing		SqueeSAR TM	
identified PSs	1,909	2,062	35,121

Figura 3 – Comparazione del numero di PS individuati nella stessa area di Corvara, elaborando diversi tipi di dati SAR con l'algoritmo SqueeSARTM di TeleRilevamento Europa T.R.E.

L'area della frana più prossimale alla cittadina di Corvara è solcata dalla strada che sale al Passo di Campolongo, verso Arabba; questa fornisce spesso oggetti ed elementi strutturali che si comportano da PS. Verso la parte più alta della frana, caratterizzata invece da prati-pascolo e macchie di bosco, i punti risultano di nuovo piuttosto scarsi, sebbene più numerosi di quelli riconosciuti nel PST-A. Fra le 109 baite rilevate in questa zona, circa 10 compaiono contrassegnate come PS nell'archivio di punti elaborati dal CSK® (fig. 4).

C) Analisi della potenziale influenza della variazione stagionale di copertura del suolo rispetto al sensore CSK

C.1) Questioni e soluzioni

Esperienze DinSAR fatte in passato nell'area di interesse con scene ERS-1/2 in banda C (Belitz et al., 2004) e J-ERS in banda L (Strozzi et al., 2005), hanno mostrato che le coperture di prati e boschi, che caratterizzano gran parte della frana, subiscono variazioni stagionali tali da penalizzare l'impiego di tecniche di interferometria differenziale con segnali a media e corta lunghezza d'onda. L'arrivo della neve durante l'inverno compromette anche i risultati interferometrici elaborati con la banda L.

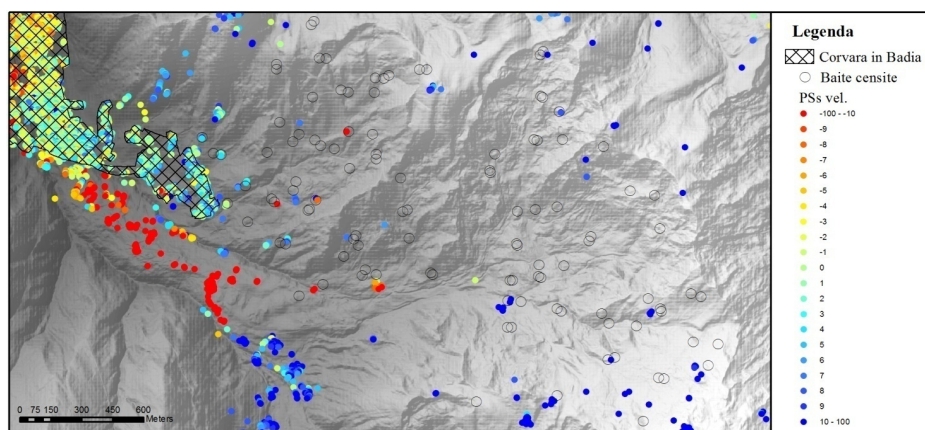


Figura 4 – Distribuzione delle baite censite sulla frana di Corvara e dei PS risultanti dall'analisi PSI realizzata con SqueeSARTM su 18 scene CSK® precedenti all'installazione dei CRs.

La presenza della neve è legata anche alla stagione turistica invernale, principale risorsa economica della zona. Gli impianti di innevamento artificiale, presenti anche sull'area in movimento, tendono a prolungare quanto possibile la copertura nevosa, fissandola fin dalle prime nevicate della stagione autunnale. Pertanto, alle quote dell'area di interesse, comprese fra 1500 e 2100 m ca., la neve può permanere per periodi compresi fra la fine di ottobre e la fine di aprile compromettendo per un lungo periodo gli scatteratori "naturali". Questa difficoltà deve essere tenuta in considerazione nella definizione del calendario di acquisizione, come pure nella pianificazione dell'installazione e degli interventi di controllo e manutenzione dei riflettori artificiali (punto D).

La presenza di un comprensorio sciistico condiziona anche altri aspetti della progettazione di un sistema di monitoraggio come quello impiegato per il progetto LAWINA. Piste da sci, impianti di risalita e di innevamento implicano la possibilità di riscontrare altri scatteratori artificiali non solo nelle zone più stabili del versante. D'altra parte, però, dove si renda opportuno installare un CR, è necessario considerare che:

- l'oggetto riflettente deve sporgere sempre dalla neve;
- il suo posizionamento non deve rappresentare un pericolo per gli sciatori.

C.2) Risultati

Questi condizionamenti hanno indotto a sperimentare un tipo di riflettore normalmente impiegato nel settore nautico, notevolmente più piccolo e leggero di quelli utilizzati per la banda C, prodotto in scala industriale e acquistabile a costi molto contenuti. Prima dell'installazione nell'area di Corvara, 2 esemplari di questo tipo sono stati testati dalla TeleRilevamento Europa fra risaie nei pressi di Milano, in condizioni ideali per evidenziarne la differenza di risposta al segnale radar. Il guadagno in ampiezza rispetto alla superficie libera circostante, seppur non di grande entità, ha fatto ritenere che la dimensione e la geometria di questi riflettori fossero adeguati per la banda X, ma impiegando particolare accortezza durante l'installazione e la manutenzione: errori di orientamento di un *corner* nautico anche molto limitati rispetto alla LOS, possono ridurre la differenza di ampiezza fra risposta del riflettore e della superficie circostante, modificare la fase in modo rilevante, tanto da non poter più trattare il *corner* installato come PS. Poiché per il progetto sono acquisite solo immagini dell'orbita discendente del CSK®, i *corners* nautici sono stati installati tenendo conto di una sola geometria.

D) Analisi dei fattori logistico - operativi per l'installazione, l'orientamento e la gestione dei CRs

D.1) Questioni e soluzioni

Per i limiti temporali imposti dal progetto, la fase di installazione è avvenuta principalmente fra l'inizio di Gennaio e la fine di Febbraio 2011, quando l'area era coperta di neve e frequentemente soggetta a temperature sotto lo 0°. Inoltre, questo periodo corrisponde ad alta stagione turistica, con un notevole affollamento delle piste.

Un'altra criticità determinata dalle condizioni climatiche della stagione invernale riguarda direttamente l'acquisizione delle scene SAR. L'attenuazione prodotta dalla neve sulla risposta del segnale in banda X e il limitato guadagno di intensità della risposta dei CRs nautici, hanno costretto a considerare una campagna di manutenzione e pulizia dei CRs ad ogni passaggio del satellite previsto durante il periodo con precipitazioni e copertura di neve. In questo caso, la presenza di piste da sci rappresentava un vantaggio logistico per poter condurre agevolmente le visite di manutenzione necessarie ad evitare che i CRs fossero coperti di neve nel momento del passaggio del CSK®. Durante il periodo invernale le acquisizioni avvenivano ogni 16gg., contro gli 8gg. pianificati per il resto dell'anno.

Infine, nella valutazione della migliore localizzazione dei CRs, si è prestato attenzione alla "compatibilità" con i punti di misura GPS utilizzati per il monitoraggio della frana dalla Provincia di Bolzano.

D.2) Risultati

Le difficoltà ad impiantare nuovi basamenti nel terreno durante il periodo invernale e i tempi limitati per la realizzazione del progetto, hanno indotto ad installare i nuovi CRs in corrispondenza di due tipi di oggetti pre-esistenti, che prevedevano la presenza di un plinto (o un palo) di fondazione:

- 6 sono stati installati in corrispondenza di stazioni degli impianti di innevamento;
- 11 sono stati installati in corrispondenza delle basi per le misure GPS.

L'orientamento di precisione dei CRs è stata realizzata con una livella digitale tipo STABILA e una bussola GPS, anch'essa reperita fra gli accessori del settore nautico.

Il 24 Febbraio 2011 tutti i CRs che costituiscono l'attuale rete di riflettori artificiali di controllo della frana (fig. 1) risultavano installati e orientati. Da allora fino alla data di preparazione di questo contributo, sono state acquisite 20 immagini CSK®. L'analisi PSI dei CRs installati in campo verrà realizzata solo alla fine del progetto in corso, il corretto assetto dei riflettori installati è stato controllato con periodiche analisi dell'ampiezza del segnale da loro riflesso, assumendo di poter così evidenziare precocemente ed eventualmente riparare loro deformazioni o spostamenti accidentali di entità tali da impedirne il riconoscimento come PS (fig. 5).

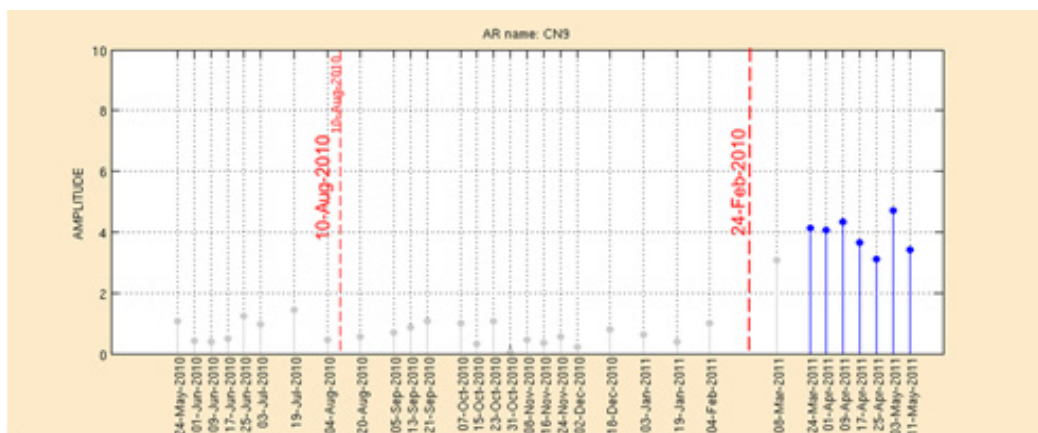


Figura 5 – Esempio di analisi della condizione di visibilità (e ampiezza) di un riflettore nautico, con le prime 7 immagini CSK® acquisite dopo l'installazione.

Discussione e conclusioni

Il progetto LAWINA è ancora in corso. Questo contributo viene scritto mentre immagini in banda X del CSK® sono ancora in fase di acquisizione. Intanto, l'esperienza fin qui maturata porta a ritenere che programmi di monitoraggio di specifici versanti in area di montagna, basati su tecniche multi-interferometriche, possano essere progettati in modo da ottimizzare i risultati rispetto alle condizioni a contorno e minimizzando le limitazioni proprie del sistema SAR, anche grazie all'aumentata disponibilità di sensori di nuova generazione.

Nell'impiego di tecniche radar si incontrano spesso difficoltà dovute alla geometria obliqua di ripresa e alle conseguenti distorsioni prospettiche. Le caratteristiche costruttive del sensore CSK® offrono una flessibilità di orientamento che, se opportunamente sfruttata e investigata, può ridurre questo genere di problemi per studi su specifiche aree di interesse.

L'analisi di deformazione del terreno di media e alta risoluzione spaziale e temporale con dati SAR su superfici naturali libere da manufatti antropici, possono rivelarsi problematiche. Nel progetto LAWINA la continuità di misure durante tutte le stagioni dell'anno è garantita attraverso l'installazione di riflettori artificiali che sono stati regolarmente controllati al fine di garantirne la visibilità anche durante la stagione delle precipitazioni nevose. Un tale approccio, che avvicina questa applicazione della tecnica PSI alle più tradizionali campagne di monitoraggio terrestre con GPS, permette di esaminare superfici molto estese, per lunghi periodi e virtualmente "in continuo" (otti-

mizzando l'intervallo di acquisizione in base al tasso di deformazione del terreno), con un costo per punto di misura che decresce all'aumentare del numero dei PSs, al contrario di quanto si verifica con le reti di misura GPS.

La messa a punto della rete di *corners* per il monitoraggio della deformazione dei versanti basata su *remote-sensing* per la fornitura di dati utili per valutazioni ingegneristiche o sistemi di controllo della pericolosità, deve essere progettata tenendo conto dei vincoli ambientali e di calibrazioni e controlli periodici con misure topografiche indipendenti (tecniche topografiche tradizionali o rilievi GPS).

Con questo contributo si vogliono riepilogare i criteri messi in atto per l'analisi di fattibilità e l'implementazione del sistema di monitoraggio della frana di Corvara, ed in particolare:

- evidenziare l'origine delle maggiori difficoltà e gli aspetti più rilevanti per la fattibilità del progetto di monitoraggio basato su PSI;
- elencare la tipologia di dati utile, quando sono disponibili, a valutare il miglior scenario operativo;
- riordinare le fasi operative nella maniera più efficiente.

1) Influenze ambientali sul sistema di monitoraggio

Se lo scopo dell'elaborazione PSI è il monitoraggio delle deformazioni del terreno per apprezzare le dinamiche stagionali, o l'evolversi del grado di pericolosità del fenomeno, è importante che almeno alcuni dei punti di misura ottenuti dalla PSI ricadano nelle zone dinamicamente più significative e che le misure di velocità di spostamento risultino affidabili e interpretabili il più chiaramente possibile nel contesto della dinamica generale del movimento di massa.

Per raggiungere questo scopo, nell'analisi di fattibilità sviluppata prima della progettazione e della installazione della rete di CRs, sono stati esaminati:

- i problemi di visibilità geometrica dei versanti in esame - *shadowing*, *layover* e *foreshortening* -, tenendo conto delle possibili geometrie che poteva assumere il sensore SAR per ottimizzare la geometria di acquisizione;
- le direzioni e le velocità di spostamento dei diversi settori che compongono la frana, rispetto alla *line of sight*, tenendo conto della loro significatività rispetto alle indicazioni di maggiore pericolo potenziale meglio descritte dalle eventuali indagini di sottosuolo;
- la distribuzione e lo stato di oggetti che possono risultare PS dall'analisi multi-interferometrica, per evitare di avere lacune di PSs dove sono più necessari o che manufatti precari o instabili "inquinano" le informazioni sul tasso di deformazione del terreno;
- l'entità e la durata della copertura nevosa, per evitare che i CRs rischino di essere coperti dalla neve al passaggio del sensore;
- le attività economiche e l'uso del suolo durante le diverse stagioni dell'anno, per non creare conflitti o condizioni di pericolo con l'installazione dei CRs, ed evitare che questi vengano danneggiati durante il periodo di monitoraggio;
- le difficoltà di spostamento nell'area della frana durante i diversi periodi dell'anno e le possibili soluzioni per agevolare i sopralluoghi di manutenzione dei CRs;
- la possibilità di ancorare i CRs a basi utilizzate per altri tipi di monitoraggio realizzati precedentemente, come quello GPS, per garantire almeno una parziale continuità e sovrapposizione con serie di misure storiche e indipendenti.

2) Anche dati utili per l'analisi di fattibilità e la progettazione del sistema di monitoraggio

Per l'area della frana di Corvara esiste una consistente mole di dati prodotta da studi precedenti e dalla Provincia di Bolzano, che è stata utilizzata in parte per l'esame delle problematiche elencate sopra. Per definire lo scenario operativo ottimale, consistente nella definizione della geometria di acquisizione e nella selezione dei punti di installazione dei CRs, sono risultati utili o necessari:

- il DEM di risoluzione comparabile con quella dell'immagine SAR elaborata con tecnica PSI;
- la perimetrazione dell'area soggetta a movimento;
- la serie (georiferita) di misure di spostamento;
- eventuali dati geologici ancillari sulle caratteristiche del fenomeno, quali dati di sottosuolo o sezioni;

- la localizzazione e la caratterizzazione, in termini di stabilità strutturale, di manufatti o altri oggetti che possono avere un comportamento radiometrico da PS;
- eventuali elaborazioni (multi-)interferometriche di dati SAR precedenti, tenendo conto dell'orbita e dei parametri geometrici, oltre che radiometrici.

3) Flusso di lavoro per la progettazione e la realizzazione del monitoraggio

Il progetto LAWINA è stato sviluppato con lo scopo di sperimentare non solo l'applicazione civile e scientifica del CSK al monitoraggio di movimenti di massa lenti, ma anche la fattibilità di un sistema di monitoraggio basato su questo sensore, che fosse in grado di sostituirsi almeno parzialmente ai tradizionali sistemi terrestri di superficie. Il doppio livello di sperimentazione ha suggerito il seguente ordine logico e funzionale delle attività da svolgere per l'implementazione di simili sistemi:

- Raccolta dei dati geologici e geomorfologici disponibili, fra cui rilievi e monitoraggi degli spostamenti del corpo in frana
- Elaborazioni derivate da DEM dell'area di interesse per minimizzare le distorsioni geometriche rispetto alla possibile *line of sight* di acquisizione
- Analisi delle componenti di spostamento dei diversi settori che compongono l'area instabile risultanti dalle misure di archivio, in relazione alla possibile *line of sight* di acquisizione
- Analisi di elaborati (multi-)interferometrici derivati da archivi di immagini SAR "storiche" del versante interessato dal movimento
- (se in zona naturale, con limitata presenza di potenziali scatteratori) Censimento dei manufatti che possono riflettere il segnale radar
- Stima della quantità, significatività e attendibilità dei potenziali scatteratori
- (se reso possibile dal *budget* di immagini disponibili) Acquisizione preliminare di poche immagini (3-4) secondo la geometria selezionata, per la verifica delle distorsioni geometriche e dei PS-candidates
- Pianificazione dell'eventuale installazione di CRs tenendo conto delle influenze ambientali
- Avvio dell'acquisizione dello *stack* di immagini per l'analisi multi-interferometrica
- Avvio delle attività di controllo e manutenzione dei CRs
- (dopo aver acquisito le prime 18-20 scene SAR) Individuazione degli eventuali "sites" di elaborazione PSI e avvio della fase di restituzione del monitoraggio, con successive, periodiche, rielaborazioni della crescente serie di immagini
- Periodiche (1-2 per anno) campagne di misura indipendente (GPS o sistemi topografici tradizionali) per la verifica e la validazione dei tassi di deformazione ottenuti dalla PSI.

Ringraziamenti

Lo studio è stato realizzato con il finanziamento dell'Agenzia Spaziale Italiana ASI. L'installazione dei riflettori e i sopralluoghi nell'area di monitoraggio durante il periodo invernale sono stati resi possibili attraverso i mezzi da neve della Soc. Pralongià, del Carosello Ski di Corvara in Badia. Si ringraziano il Sindaco e il Segretario del Comune di Corvara in Badia per la raccolta delle autorizzazioni necessarie all'installazione dei riflettori in proprietà private.

Bibliografia

Agenzia Spaziale Italiana ASI (2007), "COSMO-SkyMed Announcement of Opportunity. Doc. N°. ASI-CSM-ENG-RS-090-A. 30 April 2007", (On-line Publication:

<https://eopi.asi.it/asi/asi?type=file&ts=1314880013841&table=aotarget&cmd=image&id=107>)

Allievi J., Ambrosi C., Cerini M., Colesanti C., Crosta G.B., Ferretti A., Fossati D. (2003), "Monitoring slow mass movements with the Permanent Scatterers technique," *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2003. IGARSS '03. Proceedings. 2003 IEEE International*, 1: 215- 217

Belitz K., Corsini A., Mair V., Strozzi T., Wegmüller U., Zilger J., (2004) *Support of Satellite Radar to Hazard Zone Mapping in the Italian Alps*. FRINGE 2003 workshop SP550 Proceedings. ESA-

ESRIN Frascati (Italy) 1-5 December 2003. European Space Agency CD ISBN 92-9092-861-1 (On-line Publication:

http://earth.esa.int/workshops/fringe03/participants/467/paper_Belitz_etal_FRINGE2003.pdf,

European Space Agency CD-rom ISBN 92-9092-861-1)

Colesanti C., Ferretti A., Prati C., Rocca F. (2003a), "Monitoring landslides and tectonic motions with the Permanent Scatterers Technique", *Engineering Geology*, 68: 3-14

Colesanti C., Ferretti A., Novali F., Prati C., Rocca F., (2003b), "SAR monitoring of progressive and seasonal ground deformation using the Permanent Scatterers technique", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41: 1685–1700.

Colesanti C., Wasowski J. (2006), "Investigating landslides with space-borne Synthetic Aperture Radar. (SAR) interferometry", *Engineering Geology*, 88: 173-199

Corsini A., Marchetti M., Soldati M. (2001), "Holocene slope dynamics in the area of Corvara in Badia (Dolomites, Italy): chronology and paleoclimatic significance of some landslides", *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, 24: 127-139

Corsini A., Pasuto M., Soldati A., Zannoni A. (2005), "Field monitoring of the Corvara landslide (Dolomites, Italy) and its relevance for hazard assessment", *Geomorphology*, 66(1-4): 149-165

Crosetto M., Crippa B., Biescas E., Monserrat O., Agudo M., Fernández P. (2005), "Land eformation monitoring using SAR interferometry: state-of-the-art", *Photogrametr. Fernerkundung Geoinformation*, 6: 497-510

Ferretti A., Fumagalli A., Novali F., Prati C., Rocca F., Rucci A. (2010), "A new algorithm for processing interferometric data-stacks: SqueeSAR. *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing*, 49(9): 3460-3470

Hanssen R.F. (2005), "Satellite radar interferometry for deformation monitoring: a priori assessment of feasibility and accuracy", *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 6(3-4): 253-260

Meisina C., Zucca F., Fossati D., Ceriani M., Allievi J. (2006), "Ground deformation monitoring by using the Permanent Scatterers Technique: The example of the Oltrepo Pavese (Lombardia, Italy)", *Engineering Geology*, 88(3-4): 240-259

Panizza, M., Silvano, S., Corsini, A., Soldati, M., Marchetti, M., Borgatti, L., Ghinoi, A., Piacentini, D., Pasuto, A., Zannoni, A., Marcato, G., Mantovani, M., Tagliavini, F. & Moretto, S. 2006. *Definizione della pericolosità e di possibili interventi di mitigazione della frana di Corvara in Badia*. Provincia Autonoma di Bolzano – Alto Adige. Open File Report. http://www.provincia.bz.it/opere-idrauliche/download/Download_Corvara_RelazioneFinale_10-4-06_inviato.pdf

Schneiderbauer S., Iasio C., Mair V., Strada C. (2010), "The analysis of X-band SAR data for slow moving landslide detection and monitoring", *Proceedings of the "Mountain Risks" International Conference*, Firenze, Italy, 24-26 November 2010, 193-199

Strozzi T., Farina P., Corsini A., Ambrosi C., Thüning M., Zilger J., Wiesmann A., Wegmüller U., Werner C., (2005). *Survey and monitoring of landslide displacements by means of L-band satellite SAR interferometry*. Landslides (Springer) 2 (3), 193 – 201

Analisi morfologica tridimensionale di aree urbane a supporto dello sviluppo di modelli spaziali ambientali

Maria Ioannilli

Università di Roma Tor Vergata, Dipartimento Ingegneria Civile, Via Politecnico 1, 00133 Roma
0672597086, ioannill@ing.uniroma2.it

Abstract

Un'ottimale pianificazione urbana non può prescindere dalla minimizzazione dei livelli di inquinamento atmosferico o sonoro.

Gli edifici e l'uso del suolo in città hanno un notevole influsso su vento, temperatura, turbolenza prodotta, bilancio energetico di superficie. A causa però della dimensione e della complessità delle aree urbane, la maggior parte dei modelli attualmente in uso adotta una descrizione spaziale della struttura urbana tridimensionale molto semplificata. Dunque, per analizzare, prevedere e valutare le condizioni ambientali urbane, si rendono necessari nuovi modelli e strumenti specifici.

Durante gli ultimi anni In-TIME S.r.l. e l'Università degli Studi di Roma Tor Vergata hanno sperimentato la costruzione di numerosi nuovi parametri di morfometria urbana, utili per implementare nuovi modelli ambientali spazialmente dettagliati. La sperimentazione è stata condotta presso il Comune di Roma, in collaborazione con il Dipartimento Ambiente dello stesso Comune.

Le applicazioni sono state realizzate in ambiente GIS ESRI Arc-Info, utilizzando in modo combinato gli ambienti vettoriale e grid, con la produzione di alcuni script in grado di lavorare su database strutturati.

Tra i parametri di morfometria urbana costruiti, i più importanti sono:

- Parametri di tessitura urbana (Urban Canopy), necessari per implementare i modelli di previsione di qualità dell'aria alla mesoscala, che rappresentano il cambiamento di caratteristiche aerodinamiche del territorio urbano;
- Parametri di Canyon Stradale, necessari per l'implementazione dei modelli di dispersione dell'inquinamento atmosferico a scala urbana, che qualificano ogni piattaforma stradale secondo le relative condizioni di confine;
- Parametri di Confinamento Spaziale degli Edifici, necessari per la valutazione della dispersione sonora, basati sulla analisi topologica delle relazioni spaziali tra gli edifici analizzati in 3-D.

Utilizzando tali parametri è stato quindi possibile implementare modelli e dunque calcolare le concentrazioni di inquinanti o di pressione sonora equivalente in corrispondenza di recettori posti sulle facciate degli edifici ai diversi piani.

Abstract

Good urban planning cannot ignore the minimization of air pollution or noise levels.

Talking about the environmental quality, the presence of the urban agglomerations can significantly affect the characteristics of the atmosphere above. The buildings and the land use in the city have a relevant influence on wind and temperature fields, drag, turbulence production, surface energy budget, noise .

Because of the dimension and complexity of urban areas, is quite impossible to achieve information on environmental phenomenon by using traditional methods. Thus, to analyze, predict and evaluate

environmental urban conditions, or to simulate management process, we need to use specific models and tools. The most part of these models, however, use a spatial description of the 3-dimensional urban structure in a very simplified manner, due the complexity of the urban area.

During the last years In-TIME S.r.l. and the University Tor Vergata of Rome have experimented the building and the implementation of new spatially detailed environmental models. All the models have been developed on a ESRI Arc-Info GIS environment by using, in a combined way, the vector and grid environment, and by producing some scripts able to work on a very large database.

Among the urban built morphometry parameters, the most important are:

- *urban texture parameters (Urban Canopy) needed to implement the air quality forecast models at the mesoscale, which represent the change in aerodynamic characteristics of urban land;*
- *Canyon Road parameters, required for the implementation of the air pollution dispersion models on an urban scale, that qualify each platform according to road conditions on the border;*
- *the spatial confinement buildings parameters, necessary for the evaluation of sound dispersion, based on the topological analysis of the spatial relationships between buildings analyzed in 3-D.*

Using these parameters it was possible to implement models and calculate the concentrations of pollutants or equivalent sound pressure at the receptors on the facades of buildings on several floors.

Introduzione

In riferimento alla vivibilità del territorio nelle grandi aree urbane, si considera di fondamentale importanza lo studio della città rispetto ai vari fenomeni di inquinamento ambientale, come supporto strategico alle operazioni di planning. Ciò implica la necessità di disporre di indicatori descrittivi della struttura urbana, da utilizzarsi ai fini della valutazione ambientale.

L'analisi della struttura fisica urbana viene normalmente effettuata secondo due aspetti distinti:

- l'analisi quantitativa
- l'analisi morfologica

La analisi quantitativa è incentrata sulla misurazione delle dimensioni e della distribuzione spaziale di alcune grandezze di interesse ai fini delle decisioni di planning; tra queste grandezze:

- il tipo di utilizzazione dei suoli (misurata per superfici);
- la intensità di utilizzazione dei suoli (misurata per volumi).

Gli elementi informativi raccolti attraverso l'analisi quantitativa sono normalmente utilizzabili all'interno di modelli descrittivi della struttura fisica della città.

La analisi morfologica ha invece come oggetto le modalità di uso dello spazio e viene normalmente esperita attraverso la ricognizione della forma, individuale e/o complessiva, degli elementi di utilizzazione dello spazio fisico urbano, e delle relazioni topologiche che gli elementi urbani stabiliscono all'interno di uno spazio tridimensionale.

La analisi morfologica è quindi basata sulla individuazione delle geometrie (dimensioni e forme), delle distribuzioni e dei rapporti nello spazio degli elementi di occupazione del suolo urbano.

L'informazione ricavabile dalla analisi morfologica, pur esprimibile rigorosamente, è impiegata principalmente per una valutazione della qualità delle diverse parti della struttura urbana.

In particolare, quando l'analisi morfologica è diretta alla esplicitazione delle modalità del rapporto tra spazi edificati e spazi non edificati, oggetto di valutazione è la qualità ambientale della struttura urbana.

Uno specifico ambito di applicazione delle metriche urbane è rappresentato dall'utilizzazione di tali parametri al fine di suddividere un territorio oggetto di analisi in ambiti morfologici e funzionali omogenei dal punto di vista del loro comportamento rispetto a specifici fenomeni di rilevanza ambientale.

Assumendo infatti di non poter ricorrere a misurazioni puntuali estese a tutta l'area urbana in analisi, la tipizzazione dei diversi contesti urbani consente una più accurata valutazione delle scelte di pianificazione.

Alcuni indici morfologici di particolare rilievo sono quelli che tendono a fornire un quadro comparativo:

- dei rapporti topologici tra usi, calcolati in relazione alle condizioni di contiguità tra elementi areali di uso diverso.
- dei rapporti geometrici tra usi del suolo, calcolati sulla base della distanza (planimetrica e tridimensionale) reciproca tra elementi di uso uguale o diverso.

Il ruolo delle metriche urbane all'interno dei processi di gestione delle problematiche legate all'ambiente assume particolare rilevanza in quanto è cognizione comune di come tali problematiche siano in grande misura (anche se non esclusivamente) legate proprio alla struttura fisica delle città.

Gli edifici e l'uso del suolo in città hanno infatti un notevole influsso sulle principali grandezze in gioco: vento, temperatura, turbolenza prodotta, bilancio energetico di superficie, diffusione del suono. A causa però della dimensione e della complessità delle aree urbane, la maggior parte dei modelli per lo studio delle condizioni ambientali dei centri abitati attualmente in uso, adotta una descrizione spaziale della struttura urbana tridimensionale molto semplificata. L'applicazione dei modelli correntemente in uso fornisce, in generale, delle qualificazioni molto approssimate dei contesti urbani non permettendo di tener conto, in maniera analitica, le diverse configurazioni che localmente possono darsi.

Dunque, per analizzare, prevedere e valutare le condizioni ambientali urbane, si rendono necessari nuovi modelli e strumenti specifici.

Per implementare tali modelli, sono però richiesti parametri puntuali che descrivano, in maniera estesa ed omogenea, i caratteri strutturali degli aggregati urbani nelle tre dimensioni, al fine di rendere analiticamente valutabile l'influenza delle strutture fisiche (dimensione, ubicazione e la posizione relativa di edifici) sui parametri coinvolti nei processi caratterizzanti la qualità ambientale della città.

Gli ambiti di applicazione dei parametri derivati dall'analisi morfometrica sono evidentemente molto vasti. Mappare le relazioni spaziali che si istituiscono tra le grandezze fisiche urbane (edificazioni, viabilità, spazi aperti etc) e tra queste ed i potenziali corpi recettori, ad esempio, consente di rispondere a tante diverse esigenze di pianificazione, prevenzione e risanamento e può fornire un supporto di base ad un'analisi comprensiva di specifici fenomeni, come l'inquinamento atmosferico e quello sonoro.

Nelle applicazioni proposte, proprio questi fenomeni, in ipotesi principalmente generati dal traffico urbano, vengono messi al centro dell'attenzione.

L'ambito spaziale a cui le applicazioni si riferiscono è quello del Comune di Roma, con particolare riferimento all'area del IX Municipio. Tale area è infatti paradigmatica delle diverse condizioni strutturali urbane, morfologicamente in costante modificazione, il IX Municipio è in generale molto articolato nelle sue caratteristiche urbane, sia in riferimento alla densità ed alla morfologia abitativa, sia alla sua dinamicità quotidiana, estremamente variabile nel tempo e nello spazio.

Spazio che, peraltro, rappresenta un effettivo problema per la conduzione di studi maggiormente analitici, data la sua estensione.

Le applicazioni sviluppate vengono sinteticamente illustrate nel seguito; esse hanno portato alla costruzione di numerosi parametri di morfometria urbana, utili per implementare nuovi modelli ambientali spazialmente dettagliati. Nello specifico si tratta di parametri necessari per l'implementazione dei modelli di dispersione dell'inquinamento atmosferico a scala urbana, di modelli di previsione di qualità dell'aria alla mesoscala e per la valutazione dell'inquinamento sonoro.

Le applicazioni sono state realizzate attraverso tecnologia GIS utilizzando in modo combinato gli ambienti vettoriale e grid, con la produzione di alcuni script in grado di lavorare su database strutturati.

Modellazione ed analisi tridimensionale di contesti urbani per l'implementazione di modelli di dispersione dell'inquinamento atmosferico a scala urbana

La prima applicazione è focalizzata sulla costruzione di un nuovo parametro morfologico che considera i rapporti topologici tra i vari elementi del tessuto urbano in grado di influenzare considerevolmente il processo di dispersione degli inquinanti.

Lo spunto è stato fornito da studi fatti sull'effetto delle diverse configurazioni geometriche e topologiche degli edifici, posti ai due lati di una strada, sul fenomeno di dispersione degli inquinanti. In questi studi vengono analizzati i campi di flusso e di velocità, nella vicinanza delle sedi stradali, attraverso un modello bidimensionale di simulazione del vento ed un modello lagrangiano di dispersione, che valuta l'andamento nel tempo delle particelle rilasciate dalla sorgente. Emerge che, al variare della disposizione degli edifici con diversa altezza ai margini della strada, cambiano i regimi di flusso all'interno delle *street canopies*; ciò dimostra che il regime di flusso non può essere ricondotto ad uno schema fisso, come avviene nella maggior parte dei modelli di dispersione, ma dipende fortemente dalla configurazione degli edifici ai lati della strada e di quelli circostanti.

Proprio in base a tali considerazioni, l'applicazione sviluppata è stata finalizzata alla costruzione di un nuovo parametro morfologico che consenta di classificare le strade in funzione del grado e del tipo di confinamento cui sono soggette, analizzando la morfologia tridimensionale dei fronti stradali e mettendola in relazione con la larghezza della strada, identificando e classificando ogni condizione di *canyon* presente nell'area urbana analizzata. Il nuovo indice, infatti, permette di combinare le informazioni sulle altezze dei palazzi posti ai due lati della strada con quelle sulla larghezza della sede stradale, fornendo così una soluzione alternativa al problema della valutazione della "urban roughness".

Questo nuovo parametro trae origine da un'analisi a grande risoluzione delle caratteristiche urbane e permette di rilevare le condizioni critiche e le eventuali singolarità che, con un unico modello non sarebbero state valutate.

È stata sviluppata una procedura automatica di calcolo che, in base alle caratteristiche degli edifici prospicienti, è in grado di qualificare ogni sede stradale e, per verificarne l'effettiva applicabilità, tale procedura è stata implementata sul grafo stradale del Comune di Roma.

Nel modello tridimensionale per la qualifica dei fronti stradali, sviluppato nel presente studio, è stata utilizzata, come dato di input, la cartografia numerica vettoriale del Comune di Roma, codificata in scala 1:2000.

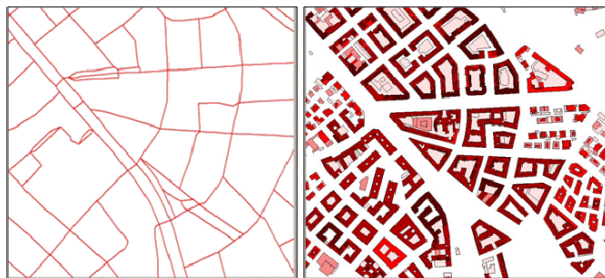


Figura 1 – Dati di input.

Sono state svolte delle elaborazioni su dati sia raster, con risoluzione di 1 m, sia vettoriali, che hanno consentito di costruire e qualificare i fronti stradali in base alle caratteristiche del contesto stradale.



Figura 2 – Fronti stradali qualificati.

I dati ottenuti sono stati successivamente ricondotti ad una scala più piccola attraverso l'impiego di una griglia con un passo di 300 m. Gli archi stradali, infatti, in funzione della larghezza della strada e dell'altezza dei palazzi che vi si affacciano su entrambi i lati, sono stati classificati in nove categorie, ad ognuna delle quali è stato attribuito un peso.

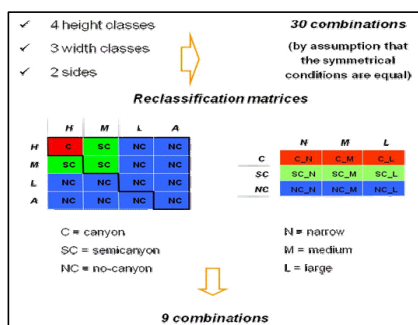


Figura 3 – Classificazione.

L'indice sintetico è stato calcolato per ogni cella della griglia come media dei pesi attribuiti alle classi, ponderati in base alla presenza di ciascuna classe nella cella.

Il parametro così valutato consente di “descrivere” la cosiddetta *urban roughness*, uno degli aspetti più importanti dell'impatto della città sull'ambiente, in grado di influenzare considerevolmente i campi di vento e la turbolenza atmosferica.

L'indice sintetico calcolato in questo lavoro consente, quindi, di caratterizzare i diversi rapporti tra “pieno” e “vuoto” in ambito urbano, che sono in grado di influenzare localmente i campi di vento, evidenziando le situazioni più critiche o le eventuali singolarità e fornendo, così, delle indicazioni di grande interesse per studiare i fenomeni di inquinamento in città. Questo indice permette di “riparametrizzare” la velocità del vento, assunta costante nei modelli, tenendo conto delle caratteristiche locali del tessuto urbano.

La procedura automatica, sperimentata in questo lavoro per tre municipi del Comune di Roma, ha un campo di applicazione molto vasto perché può essere estesa a qualsiasi realtà urbana, consentendo di gestire ogni singolarità morfologica. Permette, infatti, di qualificare ogni arco del grafo di input in funzione delle caratteristiche dimensionali, geometriche e topologiche della strada e del suo contesto.



Figura 4 – Indice sintetico spazializzato.

I modelli meteorologici alla mesoscala e i parametri di Urban Canopy

I modelli meteorologici alla mesoscala sono quelli più diffusi per studiare i fenomeni di inquinamento in ambito urbano. Essi, tuttavia, non hanno una risoluzione sufficientemente grande per simulare direttamente la fluidodinamica e termodinamica in prossimità di edifici e altre strutture urbane che possono influire sui meccanismi di dispersione degli inquinanti e modificare le caratteristiche atmosferiche. Al fine di migliorare la qualità e la consistenza dei modelli alla mesoscala e valutare l'impatto del tessuto urbano (*urban canopy*), viene ormai largamente utilizzata la *Urban Canopy Parameterization*, che consente di descrivere le caratteristiche geometriche e morfologiche della città attraverso il calcolo di alcuni parametri, ottenuti dall'analisi di databases ad alta risoluzione.

L'applicazione sviluppata ha avuto come obiettivo quello di creare una procedura in grado di calcolare analiticamente alcuni dei parametri aerodinamici e geometrici più rappresentativi quali: la roughness length (z_0) e la in plane zero displacement height ($z_{d,pl}$), che esprimono il mutamento delle caratteristiche aerodinamiche del territorio causate dalla città, e la densità di area frontale e planare. Per fare ciò è stata implementata una procedura automatica di calcolo con l'ausilio di software GIS, utilizzando, come dato di input, la cartografia numerica vettoriale del Comune di Roma, codificata in scala 1:2000. Lo studio, condotto sul Municipio IX della Capitale, per un'area complessiva di 8.1 km², ha analizzato circa 10453 edifici. Tali dati contengono una serie di informazioni relative all'aspetto geometrico e alla collocazione geografica.

Il calcolo di tali grandezze tuttavia, non è semplice, anche se alcuni metodi teorici sono comunemente assunti come riferimento (Raupach, Bottema, Bottema-Mestayer).

Questi metodi, però, non sono mai stati in precedenza applicati analiticamente ad un'area urbana, proprio a causa della estrema variabilità tanto della struttura fisica tridimensionale degli edifici che, e soprattutto, delle relazioni topologiche che essi stabiliscono nello spazio tridimensionale.

La bontà dei diversi metodi è stata testata solo mediante simulazioni effettuate nelle gallerie del vento.

L'applicazione numerica dei metodi proposti è invece sempre avvenuta secondo modalità semplificate all'interno delle quali l'estrema variabilità della struttura urbana è stata ricondotta a classi tipologiche alle quali sono stati associati i parametri caratteristici della morfologia tridimensionale.

Nella applicazione sviluppata da In-Time, al contrario, partendo da un database 3-D ad alta risoluzione dell'area urbana di Roma, sono stati dedotti i parametri più importanti attraverso

valutazioni geometriche e topologiche e per la prima volta i modelli precedenti sono stati testati in un contesto urbano reale e messi a confronto.

La procedura sviluppata si basa sulla valutazione analitica della distanza reciproca tra gli edifici e tali distanze influenzano i risultati, a causa del peso che hanno nella formulazione del modello. L'approccio analitico adottato permette di applicare la procedura realizzata a qualsiasi contesto urbano, adattabile quindi ai diversi tipi di distribuzioni e forme degli edifici, e in grado di valutare i parametri di interesse per una qualunque direzione del vento scelta.

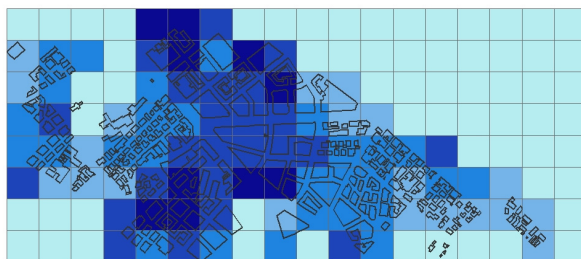


Figura 5 – Displacement height z_d .

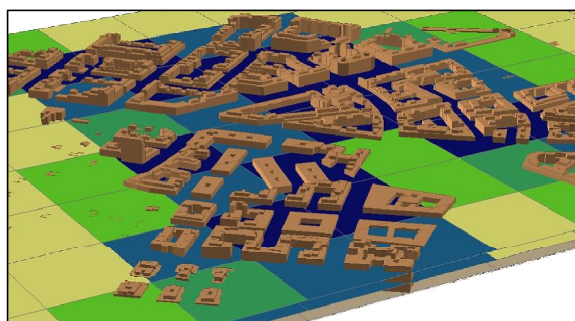


Figura 6 – Densità di area planare a 20 m di altezza.

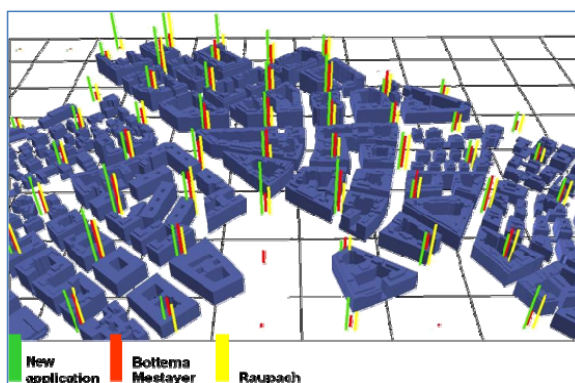


Figura 7 – Confronto tra i metodi di calcolo della z_d – visualizzazione 3D.

Sviluppo di modelli di impatto sulla popolazione di rumore da traffico veicolare

Sebbene sia ormai diffusa la consapevolezza di dover adottare opportune misure per affrontare le molteplici problematiche ambientali generate da modelli di sviluppo non sostenibili, in generale le priorità di intervento sono state nel tempo dettate dall'urgenza piuttosto che sulla base di una strategia di azioni programmate. L'inquinamento acustico è stato così trascurato nel tempo, in quanto giudicato meno rilevante d'altre problematiche.

Benché meno risonante rispetto ad altre forme di degrado, l'inquinamento acustico è oggi ritenuto responsabile di un considerevole abbassamento della qualità della vita dell'uomo.

I primi interventi contro l'inquinamento acustico erano volti a sanare le situazioni più gravi, portando ad una diminuzione dei livelli di rumore più alti nelle zone a rischio. Contestualmente sono però aumentate le zone con livelli definiti d'attenzione, che ha comportato un aumento della popolazione esposta. Ciò è dovuto al fatto che fra le cause più comuni d'inquinamento acustico in ambito urbano, il traffico veicolare occupa un ruolo di primo piano e la determinazione del suo peso nell'ambiente urbano è oggetto di numerosi studi e modelli.

Delineando un nuovo approccio nella realizzazione delle mappe acustiche urbane, si è pensato alla realizzazione di un sistema che riesca a soddisfare i requisiti introdotti dalle nuove normative, in modo da creare uno strumento di supporto nelle operazioni di pianificazione.

L'idea su cui si fonda il progetto è quella di associare ad un modello di emissione un modello di impatto. Si assume che, per la misura di emissione e di livello sonoro si possano utilizzare specifici modelli, ormai ampiamente diffusi a livello nazionale ed internazionale.

Il modello di impatto, elaborato su base geografica, prevede l'uso di fonti di dati vettoriali tridimensionali, quali sono le odierne carte tecniche numeriche; integrando dati anagrafici relativi alla distribuzione della popolazione residente e delle attività commerciali è possibile realizzare un sistema che permetta una valutazione dell'impatto sulla popolazione, analizzata nella sua collocazione spaziale tridimensionale, dell'inquinamento acustico.

Per relazionare l'output del modello di emissione con i ricettori presenti nel contesto urbano (popolazione) dobbiamo connettere la localizzazione dei ricettori assunti dal modello di emissione con la localizzazione della popolazione. I ricettori del modello di emissione sono localizzati puntualmente in uno spazio tridimensionale, mentre la popolazione è distribuita all'interno degli edifici a differenti piani. L'idea è quella di costruire dei parametri di confinamento spaziale individuati da elementi geografici, derivati dalla descrizione degli edifici presenti nella cartografia, che possano essere relazionati tanto ai ricettori del modello di emissione che agli edifici in quanto sedi di popolazione. Per fare questo è necessario stabilire una relazione spaziale tra la popolazione e la concentrazione di rumore misurata dal modello (attraverso la localizzazione dei ricettori). Si identificano queste entità in una collezione di regioni, localizzate spazialmente in uno spazio tridimensionale, che rappresentano le facciate degli edifici distribuite ai diversi piani degli edifici stessi. I centroidi di tali elementi rappresentano la localizzazione tridimensionale dei ricettori utilizzati dal modello di diffusione per calcolare l'intensità sonora.

Il dato di input presente nella cartografia non è immediatamente utilizzabile e per sviluppare il modello è stato necessario, implementare delle specifiche procedure di elaborazione che permettessero di identificare le facciate degli edifici.

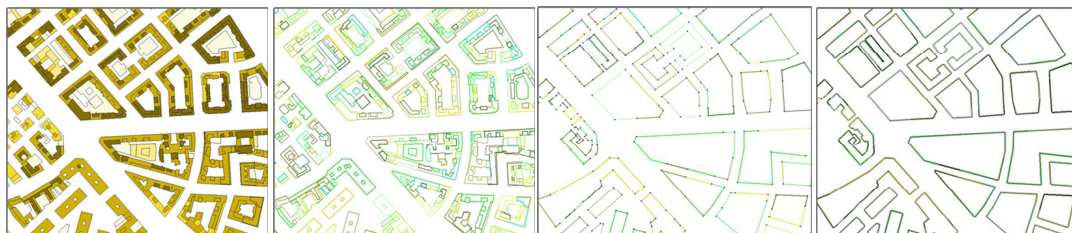


Figura 8 – Elaborazione dati di input.

Sulla base di questi elementi e' quindi possibile costruire le unità di facciata per ciascun lato esposto dell'edificio. Ogni unità di facciata e' codificata con il codice toponomastico dell'edificio con il numero di piano a cui l'unità e' collocata.

Per ciascuna delle unità di facciata e' costruito il centroide. L'insieme dei centroidi sarà il sistema dei ricettori utilizzato dal modello di emissione. In questo modo ricettori e facciate risultano correlati. Questo permette di restituire sugli elementi di facciata i valori di concentrazione misurati.

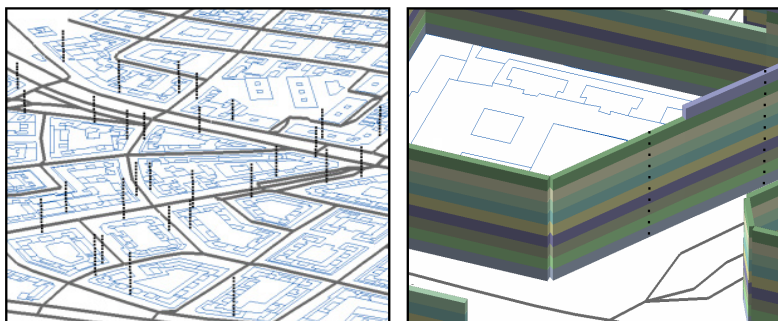


Figura 9 – Costruzione e localizzazione tridimensionale dei ricettori.

Il metodo, le tecniche e le tecnologie adottate nella sperimentazione si possono sintetizzare nei seguenti punti:

- sperimentazione di nuove forme di elaborazione delle basi cartografiche numeriche tridimensionali, ormai molto diffuse a livello locale, derivandone elementi informativi in prospettiva utilizzabili su più versanti della gestione degli oggetti urbani;
- utilizzo (e quindi valorizzazione) di banche dati esistenti, associabili alle basi di dati precedenti (flussi di traffico, geometria urbana, dati sulla popolazione), per derivarne nuovi indicatori ambientali spazialmente riferiti;

Dal punto di vista dei risultati, il prototipo del sistema di impatto implementato in questo lavoro permette:

- la produzione di informazione da erogare a soggetti a diverso titolo coinvolti nella gestione nell'inquinamento acustico;
- la gestione dei diversi aspetti dell'inquinamento acustico (catasto delle sorgenti sonore, stima dell'esposizione sonora della popolazione, esposti a seguito del disturbo indotto, etc.);
- la configurazione di diversi scenari di risanamento e, quindi, il supporto al processo decisionale di scelta degli interventi da attuare.

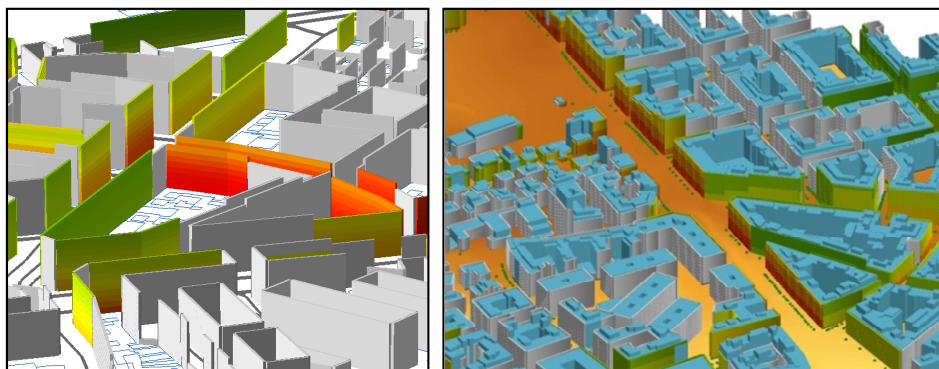


Figura 10 – Risultati finali.

Conclusioni

L'analisi morfologica tridimensionale delle strutture urbane rappresenta attualmente una frontiera lungo la quale si misura la possibilità di derivare, dalle sempre più disponibili fonti informative geografiche ed in generale dalla geoinformazione, un quadro analitico di conoscenze dei contesti territoriali urbani in grado di sostenere processi di pianificazione sempre più coerenti e sostenibili.

La pratica corrente dell'analisi territoriale spesso rinuncia a confrontarsi con tale sfida, accettando di operare all'interno di semplificazioni che nella maggior parte dei casi forniscono però livelli di generalizzazione che rendono scarsamente utilizzabili i risultati dell'analisi stessa a fini di supporto ai processi di pianificazione.

Si pensi, ad esempio, e proprio in riferimento all'ultima delle applicazioni sviluppate, a quelle che sono le correnti modalità di redazione dei piani di disinquinamento acustico, basati principalmente sulla redazione di carte tematiche in cui vengono rappresentate le isoacustiche, linee lungo le quali il livello sonoro è uguale, all'interno delle quali sono racchiuse tutte le zone con un valore di inquinamento acustico compreso in un certo range. Con tali rappresentazioni generalizzate del fenomeno, in quale modo è possibile, ad esempio, produrre una prioritizzazione degli interventi di disinquinamento? È infatti del tutto evidente che, anche a parità di "classe" singoli edifici possano risultare molto più esposti di altri.

La possibilità di effettuare misurazioni in maniera estesa, sincronica ed omogenea e soprattutto spazialmente puntuale è certamente la risposta più idonea.

Tradizionalmente si è affermata l'impossibilità di realizzare tali misurazioni, proprio a causa della eccessiva complessità (ed estensione) delle aree analizzate.

Le applicazioni sviluppate da In-Time con il concorso dell'Università di Tor Vergata forniscono la misura di come, al contrario, esse siano effettuabili a partire dalle comuni banche dati tridimensionali di cui gli enti territoriali sono sempre più forniti.

Bibliografia

- Ashie Y., Than Ca V., Asaeda T., (1999), "*Building canopy model for the analysis of urban climate*", J. Wind Eng. an Ind. Aerod. 81, 237 – 248
- Bottema M., (1996), "*Roughness parameters over regular rough surfaces: experimental requirements and model validation*", journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 64 (1996) 249-265, Elsevier Science Ltd
- Bottema M., (1997), "Urban roughness modelling in relation to pollutant dispersion", Atmos. Environ. 31, 18, 3059-3075
- Bottema M., Mestayer P., (1998), "Urban roughness mapping – validation techniques and some first results", journal of Wind Engineering and
- Brown M.J., (2000), "*Urban Parameterizations for mesoscale meteorological models*", Mesoscale Atmospheric Dispersion. Ed., Z. Boybeyi., pp. 193-255
- Burian S.J., Brown M.J., Linger S.P., (2002), "*Morphological analysis using 3D building databases: Los Angeles, California*", LA-UR-02-0781. Los Alamos National Laboratory, 66 pp.
- Burian S.J., Brown M. J., Ching S., Cheuk M.L., Yuan M., Han W., McKinnon A.T., (2004a), "*Urban Morphological Analysis for Mesoscale Meteorological and Dispersion Modeling Applications: Current Issues*", Fifth Conference on Urban Environment, Vancouver, BC
- Burian S.J., Stetson S.W., Han W., Ching J., Byun D., (2004b), "*High-Resolution Dataset of Urban Canopy Parameters for Houston, Texas*", Fifth Conference on Urban Environment, Vancouver, BC
- Directive 2002/49/EC of the European Parliament, Assessment and management of environmental noise
- Gerdes F., Olivari D., (1999), "*Analysis of pollutant dispersion in an urban street canyon*", J. Wind Eng. an Ind. Aerod. 82, 105 – 124
- Grimmond C., Oke T., (1999), "*Aerodynamic properties of urban areas derived from analysis of surface form*", J. Appl. Meteorol. 38, 1261-1292

- Grossman Clarke S., Zehnder J.A., Stefanov W.L., Liu Y., Zoldak M.A., (2005) "*Urban modifications in a mesoscale meteorological model and the effects on near surface variables in an arid metropolitan region*"
- MacDonald R. W., Griffiths R.F., Hall D.J., (1998) "*An improved method for estimation of surface roughness of obstacle arrays*", Atmos. Environ. 32, 1857-1864
- OECD, 1993. OECD core set of indicators for environmental performance reviews. OECD Environment Directorate Monographs no. 83
- Raupach M. R., (1994) "Simplified expression for vegetation roughness length and zero-plane displacement height as function of canopy height and area index", Boundary-Layer Meteorology 71, 211-216
- Ratti C., Di Sabatino S., Britter R., Brown M.J., Caton F., (2001) "*Analysis of 3D urban databases with respect to pollution dispersion for a number of European and American cities*", Preprints, Third Int. Conf. On Urban Air Quality, March 2001, Loutraki, Greece
- Ratti C., Di Sabatino S., Britter R., Brown M.J., Caton F., Burian S. J. , (2002) "Analysis of 3D urban databases with respect to pollution dispersion for a number of European and American cities", Water, Air, and Soil Pollution: Focus 2: 459-469
- Xia J, Leung D.Y.C., (2001), "*Pollutant Dispersion in Urban Street Canopies*", in Atmospheric Environment vol. 35, pp 2033 - 2043, Elsevier Science Ltd

Gli indicatori geografici di performance per la valutazione dei servizi pubblici locali

Maria Ioannilli (*), Maurizio Ambrosanio (**)

(*) Università degli Studi di Roma "Tor Vergata", Dipartimento di Ingegneria Civile
Via Politecnico 1, 00133 Roma, +390672597086, ioannilli@ing.uniroma2.it

(**) Università degli Studi di Roma "Tor Vergata", Dipartimento di Ingegneria Civile
Via Politecnico 1, 00133 Roma, +390672597296, ambrosanio@ing.uniroma2.it

Abstract

Il presente lavoro costituisce un esempio di utilizzo integrato di sistemi informativi territoriali e dei principi di gestione aziendale per la valutazione dell'efficacia e dell'efficienza nella gestione tecnica dell'infrastruttura di raccolta dei rifiuti solidi urbani. Il lavoro è focalizzato sul problema della valutazione della performance nel segmento di gestione del servizio di raccolta differenziata alla scala urbana ed è sviluppato in riferimento all'ambito urbano del Comune di Roma. In tale contesto sono definiti e costruiti specifici indicatori di performance attraverso l'effettuazione di un'analisi del rapporto locale tra l'utenza e il servizio di raccolta differenziata di RU, finalizzata a verificare l'esistenza di una corretta distribuzione delle postazioni di raccolta differenziata in relazione alla distribuzione dell'utenza domestica e commerciale e il livello di efficacia ed efficienza del servizio di raccolta differenziata.

Per la costruzione degli indicatori è stato necessario definire il concetto di utente equivalente per valutare l'utenza normalizzandola rispetto alle sue diversificazioni (dimensione e categoria). I risultati ottenuti dall'analisi consistono in indici costruiti per sezione di censimento utili ad identificare le zone urbane che necessitano di una verifica della organizzazione del servizio.

Ciò è stato effettuato attraverso la spazializzazione di:

- 430.000 numerazioni civiche;
- 48.426 contenitori, pari al 98% del servizio;
- 1.057.755 utenti domestici, associati alle postazioni di raccolta, pari al 95,38 % del totale;
- 115.301 utenti non domestici, associati alle postazioni di raccolta pari all' 82,00% del totale.

Con l'ausilio di un sistema informativo geografico le informazioni acquisite sono state organizzate ed elaborate in una base di dati geografica coerente ed organica.

Il sistema è potenzialmente replicabile in altri contesti urbani e permette, da un lato, di valutare la rispondenza dei servizi di igiene urbana alle prescrizioni della carta dei servizi, e dall'altro consente una ripianificazione dei servizi di igiene urbana finalizzata all'ottimizzazione dei costi inerenti alla gestione del ciclo dei rifiuti.

In this paper, we describe an integrated employment of geographic information systems and principles of business management, in the evaluation of the effectiveness and the efficiency of a municipal solid waste collection system. We focused on the measure of performance of separate collection service at the urban scale, taking the case study of the Municipality of Rome. In that context, we defined and calculated proper performance indicators, locally comparing users and service, for the purpose of evaluate the localisation of separate collection dustbins in comparison with the spatial distribution of residential or commercial users.

To this aim, we defined the concept of "equivalent user", in order to assess the users in a normalized way. We quantified indexes for each census zone, so that we could identify zones where service needed to be reorganized.

To do this we georeferenced in the Municipality of Rome:

- 430.000 street numbers
- 48.426 dustbins (98% of the total)
- 1.057.755 residential users (95,38 % of the total), associated to the dustbins
- 115.301 non-residential users (82% of the total), associated to the dustbins.

Information was organized in a structured geo-database and a geographic information system was designed and developed. The system can be used in other urban contexts and allows to evaluate the compliance of the service to the commitments. Besides it allows to plan the service aiming to reduce costs, by using the improvement possibilities measured by the defined performance indicators.

La qualità

Il concetto di qualità si è negli anni progressivamente esteso da una visione prettamente industriale incentrata sulla verifica delle caratteristiche del prodotto, ad una più ampia visione che investe per intero un generico processo di realizzazione di un prodotto o di un servizio.

Inizialmente infatti, secondo un approccio orientato alla produzione, la qualità era intesa prevalentemente come conformità alle specifiche e quindi era garantita da severi controlli di produzione. Questi controlli erano eseguiti, alla fine del processo produttivo, da personale tecnico ed erano completamente separati dalle altre attività aziendali. Il problema della qualità era pertanto di natura essenzialmente operativa e risolvibile attraverso l'applicazione dei metodi statistici. Il controllo della qualità consisteva nell'attività di ispezione finale che, fungendo da filtro, consentiva di evitare che i prodotti difettosi giungessero sul mercato.

Successivamente, al fine di meglio controllare i costi di produzione connessi alla difettosità dei prodotti, i controlli sono stati spostati a monte lungo il processo produttivo per evitare così che i semilavorati difettosi venissero sottoposti ad ulteriori fasi di lavorazione. Si trattava, in sostanza, di un approccio attraverso il quale si assoggettano a controllo non solo i prodotti destinati alla vendita ma anche tutti i processi finalizzati alla loro realizzazione.

Nel corso del tempo, a seguito delle mutate condizioni economico-sociali, si è quindi fatta strada la convinzione che non è più sufficiente accertare la conformità, ma occorre estendere i controlli fino alla soddisfazione dei clienti: alla prospettiva interna si è aggiunta quella esterna. Per questa via, si è affermato un approccio alla qualità come "modo di gestire l'impresa", intendendo con questa espressione che il miglioramento del livello qualitativo può realizzarsi a condizione che sia svolta un'efficace azione direzionale volta a coinvolgere tutto il personale nel programma di miglioramento della qualità.

Negli anni cinquanta è stato teorizzato il modello conosciuto come "ruota di Deming", assunto poi come riferimento nelle norme di sistema ISO, noto anche come metodo PDCA, dalle iniziali Plan, Do, Check, Act. Tale modello prevede una fase di verifica dei risultati e del raggiungimento degli obiettivi, implicando ciò una valutazione tanto delle prestazioni interne (il sistema di gestione, i processi e i prodotti/servizi, gli aspetti economico-finanziari, le risorse ecc.) quanto delle prestazioni esterne (la customer satisfaction, i reclami ecc.).

La qualità nei servizi pubblici locali

Per servizio pubblico locale intendiamo una produzione di beni ed attività caratterizzata anche normativamente dai seguenti elementi:

- imputabilità all'ente locale del servizio;
- oggetto del servizio consistente nella produzione di beni ed attività destinati alla comunità locale;
- scopo consistente nella realizzazione di fini sociali e nella promozione e sviluppo delle comunità locali.

L'erogazione dei servizi pubblici è storicamente riconducibile agli enti locali ed in particolare ai comuni. La gestione dei servizi pubblici da parte degli enti locali attraverso una propria struttura organizzativa ha mostrato, a partire dagli anni '90, una inadeguatezza rispetto al mutato quadro

della realtà italiana. Le più significative ragioni della crisi del modello municipale della gestione diretta dei servizi possono essere così sintetizzate:

- il crescere della complessità del sistema dei servizi per l'emergere di nuovi e più articolati bisogni;
- l'insostenibilità dei costi connessi alla gestione diretta dei servizi;
- l'esigenza di strutture di gestione dei servizi più agili ed estranee ai vincoli del diritto amministrativo;
- il processo di integrazione europeo e la relativa pressione comunitaria per l'apertura del mercato dei servizi alla concorrenza;
 - ✓ azione di liberalizzazione a livello nazionale di alcuni settori dei servizi pubblici;
 - ✓ articolazione di molti servizi su base sovracomunale (ad esempio il servizio idrico integrato ed il trasporto pubblico locale);
- la generale crisi del modello dell'intervento pubblico in economia, aggravata in alcuni casi da fenomeni degenerativi quale quello della corruzione.

Sin dall'inizio degli anni novanta ha quindi investito il settore dei servizi pubblici il processo di esternalizzazione, assumendo differenti connotazioni:

- privatizzazioni formali, cioè la creazione di società di capitali a totale partecipazione pubblica, frutto spesso della trasformazione societaria di enti pubblici economici o aziende speciali, cui affidare direttamente la gestione del servizio;
- privatizzazioni sostanziali, consistenti nella cessione a soggetti privati della società affidataria del servizio o del controllo di essa;
- ricorso al mercato: servizio affidato a soggetti terzi (a capitale privato, pubblico o misto) scelti a seguito di gara ad evidenza pubblica.

Il processo di esternalizzazione ha comportato la trasformazione dell'amministrazione pubblica in interprete dei bisogni dei cittadini utenti e responsabile del loro soddisfacimento attraverso idonei operatori, con il graduale superamento del suo ruolo di erogatore diretto del servizio.

L'affidamento dell'erogazione del servizio ad un soggetto esterno (legato all'amministrazione, quale istituzione, azienda speciale o società totalmente o prevalentemente partecipate o ad essa terzo) ha determinato la necessità di una netta definizione dei rispettivi ruoli. Nel sistema dei servizi si sono così venuti a distinguere due differenti posizioni cui fanno capo due fondamentali funzioni:

- da un lato l'ente locale con la sua attività di indirizzo e controllo,
- dall'altro il soggetto erogatore incaricato di organizzare materialmente il servizio

Il rapporto tra l'affidatario e l'ente locale è regolato da un contratto di servizio, che ovviamente prevede determinati livelli di servizio, che dovrebbero essere monitorati nel corso dell'affidamento, in modo da poter mettere in atto eventuali azioni correttive.

Nel caso dei servizi pubblici locali il miglioramento della qualità ha dunque un'importanza particolare in quanto, oltre ad essere rilevante per l'affidatario, consente all'ente locale di verificare l'effettiva rispondenza ai livelli definiti nel contratto di servizio e quindi a tutti i cittadini di avere un adeguato livello di servizi, spesso essenziali e strategici.

Misurare la performance: gli indicatori

Come visto, per poter gestire un processo in termini di qualità è necessario avere a disposizione dati oggettivi in grado di supportare le decisioni volte al miglioramento, in altri termini occorre misurare la performance. Adottiamo per performance la definizione universalmente riconosciuta di "grado con il quale un sistema realizza gli obiettivi che si è posto".

È necessario dunque che le diverse componenti del processo, in ciò comprendendo anche il contesto (interno: organizzazione; esterno: ambiente) in cui il processo opera, siano rappresentate da grandezze sintetiche in grado di:

- illustrare concretamente lo stato delle singole componenti;

- permettere la formulazione di un giudizio sullo stato delle componenti;
- determinare eventuali modificazioni delle componenti.

Ciò introduce il concetto di indicatore, ovvero la rappresentazione di una mera grandezza (es. il numero complessivo di prestazioni), una “fotografia”, in sé priva di finalità valutative. Tale concetto è diverso da quello di indice, che consiste invece in un rapporto tra una grandezza e una determinata entità di riferimento, fornendo quindi un giudizio di valore (es. numero di prestazioni erogate nell’unità di tempo ecc.), ancorché nel linguaggio corrente spesso i due termini vengono usati impropriamente in modo indifferenziato.

Schematizzeremo le componenti del problema in riferimento al seguente modello concettuale:

- un qualunque processo produttivo (di un bene o servizio) è funzionale al perseguimento di un sistema di obiettivi dell’organismo che pone in essere il processo;
- questo sistema di obiettivi è perseguito cercando di produrre (beni o servizi) in grado di corrispondere all’ambiente sul quale il processo agisce e dal quale è motivato;
- nel processo di produzione il processo interagisce con fattori esterni (risorse, stakeholders, ecc.) al processo stesso e che spesso non sono gestiti dal processo;
- per produrre tali beni il processo utilizza delle risorse di diversa natura (economiche, umane, organizzative ecc.)
- inoltre, dal punto di vista strategico, il processo tende ad influire sull’ambiente sul quale agisce al fine, ad esempio, di orientarne il comportamento.

Quello che noi tendiamo a misurare è quindi:

- quanto il nostro processo è riuscito a produrre (output)
- in maniera corrispondente all’ambiente, con ciò verificando quanto i nostri obiettivi sono stati perseguiti (outcomes – risultati)
- a fronte di quali e quante risorse impiegate (input) ed eventualmente
- quanto abbiamo influito sul comportamento dell’ambiente (impacts)

Le misure sui singoli elementi del processo, possono essere interpretate come sistema di indicatori elementari. Questi possono essere combinati tra di loro per costruire gli indicatori multidimensionali. Questi ultimi, infine, se rapportati ad una misura di riferimento (standard) producono gli indici.

Gli indicatori, ed in particolare quelli quantitativi, sono basati su dati, questo implica che, volendo gestire una organizzazione secondo il criterio della qualità totale mediante la implementazione di un sistema di gestione delle performance, occorre che l’organizzazione sia dotata di un sistema informativo in cui vengano memorizzati tutti i dati rilevanti per la costruzione degli indicatori.

A questo proposito si noti infatti che la disponibilità ordinaria dei dati di base è una condizione indispensabile per la implementazione di un sistema di gestione delle performance. È altrettanto indispensabile che tali dati siano prodotti dall’organizzazione nel ciclo di realizzazione delle proprie attività perché ciò garantisce che l’indicatore realizzato sia intrinsecamente coerente con lo stato corrente dell’organizzazione.

Il caso del servizio di raccolta dei rifiuti solidi urbani

Il ciclo di gestione dei rifiuti, in particolare dei rifiuti solidi urbani, presenta aspetti di elevatissima problematicità e può essere affrontato da molteplici punti di vista.

Per le finalità del presente articolo ci concentreremo però su uno specifico segmento del complessivo ciclo, ovvero il servizio di raccolta del rifiuto.

È in primo luogo da rilevare che tale servizio comporta costi sicuramente importanti per la collettività e per i Comuni, che rappresentano l’ente locale competente in materia.

Inoltre è sempre maggiore l'introduzione da parte dei Comuni di criteri di tipo ambientale nelle strategie di organizzazione e gestione del servizio.

Dunque emerge la necessità di operare tanto interventi sul lato dell'offerta di servizio (miglioramento qualitativo e quantitativo, diversificazione), quanto interventi premiali rivolti direttamente all'utenza (sconti tariffari, servizi aggiuntivi etc.).

I due problemi / obiettivi su cui concentrare l'attenzione nel breve periodo sono riassumibili in:

- incremento della efficacia, efficienza ed economicità nella gestione del servizio di raccolta e smaltimento del rifiuto solido urbano, che implica: un miglioramento della organizzazione dell'infrastruttura di servizio (quantità, tipologia e localizzazione delle postazioni di raccolta del RU differenziato ed indifferenziato); un miglioramento della organizzazione del servizio; la diversificazione e la specializzazione dell'offerta di servizio
- attivazione di processi di incentivazione alla raccolta differenziata basati su meccanismi premiali rivolti direttamente all'utenza.

Nelle grandi aree urbane la maggior parte degli utenti (domestici e non) conferisce il rifiuto solido in maniera collettiva utilizzando le postazioni di raccolta (indifferenziata e differenziata) dislocate sul territorio.

Le Aziende "qualificano" il profilo dei loro utenti, per dimensione e potenziale produzione di rifiuto. Tali categorie non sono però state determinate in funzione di comportamenti rilevati, né in termini di quantità conferite né in termini di frazioni merceologiche, ed in generale presentano quindi il limite di:

- non corrispondere ai reali comportamenti dell'utenza
- sono indifferenziate nello spazio e cioè ipotizzano che una stessa categoria di utente abbia lo stesso comportamento nella produzione e conferimento in qualsiasi ambito urbano (che può essere fatto corrispondere in prima istanza ad un ambito di tipo socio economico) sia collocato.

Il complesso degli elementi precedenti genera quello che, allo stato attuale, può considerarsi il problema centrale delle Aziende rispetto alla perseguibilità degli obiettivi precedenti: esse, infatti, non dispongono di una conoscenza diretta dei comportamenti dell'utenza per quanto concerne i segmenti di produzione e conferimento del rifiuto solido urbano. In altre parole le Aziende non dispongono di una misura analitica del rapporto domanda - offerta.

La mancata chiarificazione dei potenziali comportamenti dell'utenza nei confronti della produzione e conferimento dei rifiuti produce:

- una oggettiva difficoltà nella pianificazione dei servizi di raccolta, che viene in genere effettuata sulla base di una conoscenza empirica del comportamento dell'utenza nelle diverse parti dell'area urbana servita
- una difficoltà nella determinazione di servizi alternativi al conferimento collettivo per determinate frazioni merceologiche
- la impossibilità di attivare meccanismi di incentivazione basati sulla premialità dei comportamenti virtuosi nel conferimento differenziato.

D'altra parte, però, tutte le Aziende dispongono di una analitica informazione sul servizio da esse erogato, sia in termini di quantità raccolte che di risorse (umane, materiali e mezzi) impiegate per l'erogazione che, infine, di assetto spaziale dell'offerta.

Per affrontare le questioni sopra esposte in maniera operabile nel breve periodo, occorre tenere presente i seguenti vincoli:

- non è possibile ipotizzare l'istituzione di processi che analiticamente tendano a rilevare i comportamenti di ogni singolo utente. Date le dimensioni dei contesti urbani serviti ciò implicherebbe l'investimento di un complesso di risorse (umane, economiche e temporali) non attualmente disponibili

- qualsiasi modificazione radicale dei processi di conferimento (ad esempio il conferimento esclusivo con sacchetto prepagato) richiederebbe una completa riorganizzazione dei processi aziendali
- l'uso di modalità alternative di raccolta (porta a porta) non sembra implementabile in maniera estensiva su tutti gli utenti di una grande area urbana.

Allo stato attuale, l'unico approccio che sembrerebbe operabile nel breve periodo è quello statistico - geografico basato principalmente sulla identificazione dei gruppi di utenti (domanda) associabili a ciascuna postazione (unità di offerta), sinteticamente identificabili come unità di servizio.

Il concetto di unità di servizio rende infatti misurabili i comportamenti di un gruppo di utenti, che conferiscono il rifiuto in una determinata postazione, confrontando le quantità conferite (note) con quelle attese (derivate dalla applicazione dei coefficienti di produttività specifica). L'applicazione di tale concetto alla raccolta differenziata, in particolare, porterebbe alla identificazione degli utenti "virtuosi" a cui dirigere le politiche premiali. Per la determinazione delle unità di servizio è necessario disporre di un modello di associazione domanda - offerta (chi conferisce dove) statisticamente consistente.

Per valutare la realistica delle ipotesi precedenti, e la loro praticabilità tecnica, si tenga conto che le informazioni di cui le Aziende dispongono in maniera diffusa sono:

- anagrafica degli utenti localizzata nominalmente (indirizzo) e qualificata dal punto di vista dimensionale (utenti domestici e non) e per categoria di attività (utenti non domestici);
- anagrafica delle postazioni di raccolta localizzata nominalmente (indirizzo) qualificate per tipologia, dimensione e numero dei contenitori allocati nella postazione per ciascuna tipologia di rifiuto raccolto (indifferenziato, carta, vetro, multimateriale etc.);
- anagrafiche dei servizi (per diverse tipologie di rifiuto) che associano le postazioni al mezzo ed al personale che ha effettuato il servizio;
- anagrafica delle quantità raccolte per ciascun servizio, che associa i volumi (od i pesi) dei rifiuti raccolti alle diverse postazioni di raccolta;
- più raramente, solo nel caso in cui i mezzi che effettuano la raccolta siano dotati di sistemi di pesatura, l'anagrafica delle quantità raccolte per singolo contenitore (e quindi per singola postazione).

A questi si aggiungono gli archivi geografici utilizzabili per il georiferimento spaziale dei dati: numerazioni civiche derivate dalle cartografie tecniche comunali, grafi stradali codificati, areali statistici di riferimento degli indirizzi comunali.

Data questa disponibilità informativa sembrerebbe del tutto ovvio di poter giungere alla valutazione di quel rapporto analitico tra domanda ed offerta di cui in precedenza si lamentava l'indisponibilità; in effetti ciò sembra possibile, a patto di disporre di una funzione che associ i diversi termini del rapporto. Tale funzione è ovviamente la geografia.

Questi concetti sono stati sperimentati dall'Università di Tor Vergata all'interno di una lunga collaborazione con l'Azienda Municipale per l'Ambiente del comune di Roma (AMA).

Nell'ambito di tale esperienza è stata realizzata la specializzazione di:

- 430.000 numerazioni civiche;
- 48.426 contenitori, pari al 98% del servizio;
- 1.057.755 utenti domestici, associati alle postazioni di raccolta, pari al 95,38 % del totale;
- 115.301 utenti non domestici, associati alle postazioni di raccolta pari all' 82,00% del totale.

Inoltre, a ciascun utente, definendo un modello di associazione domanda - offerta di tipo geografico - statistico, sono state associate le postazioni di raccolta in cui egli conferisce il rifiuto.

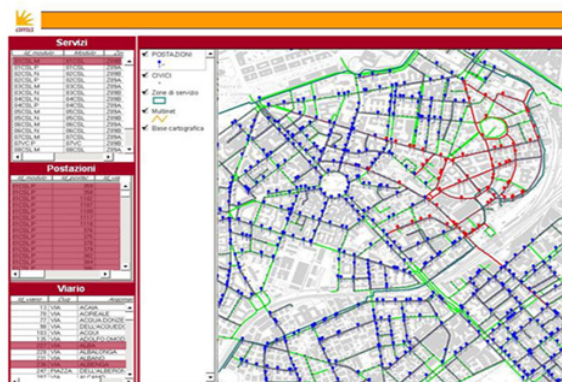


Figura 1 – Spazializzazione dei dati concernenti l'offerta di servizio di AMA.

Gi indicatori geografici di performance

È opportuno in primo luogo osservare che in letteratura è presente una varietà piuttosto estesa di indicatori proposti e di indicatori implementati e che non emerge una tassonomia universalmente condivisa sugli indicatori per la valutazione del servizio di gestione dei rifiuti solidi urbani.

Sono inoltre presenti diversi approcci “culturali” nella proposizione di indicatori, a cui corrisponde una molteplicità di definizioni di tipologie di indicatori; infine, le specifiche infrastrutture informative localmente presenti condizionano in maniera elevata la formulazione di indicatori

Il primo gruppo di indicatori calcolati sono definibili secondo la seguente scansione:

- finalità: pianificazione
- contesto: servizio
- utenti: responsabili servizio raccolta RU
- obiettivo strategico: miglioramento del ciclo di gestione dei rifiuti
- obiettivo tattico: miglioramento del conferimento differenziato
- obiettivo operativo: promozione del conferimento differenziato domestico
- attività: misura del comportamento dell'utenza
conferimento di “incentivi” all'utenza virtuosa

L'obiettivo strategico a cui si fa riferimento riguarda il generale miglioramento del ciclo dei rifiuti; all'interno di tale obiettivo, si colloca prioritariamente l'obiettivo tattico di incentivazione alla raccolta differenziata dei rifiuti solidi urbani (decreto legislativo 5 febbraio 1997 e successive modifiche). Dato che il conferimento differenziato è una attività di tipo volontaristico, questo obiettivo è perseguibile implementando dei meccanismi di riconoscimento (riduzione di tariffa, riconoscimento di servizi aggiuntivi etc) per l'utenza che tiene un comportamento “virtuoso” nei confronti del conferimento differenziato.

Ciò significa, termini di misure, che partendo dalla associazione tra utenze e postazioni, che determina il profilo di carico di ciascuna postazione, è necessario associare ad essa i dati di servizio (quantità raccolte) e quindi effettuare una comparazione dei conferimenti per ciascuna postazione di raccolta per identificare i comportamenti più “virtuosi” tenuti dagli utenti che quelle postazioni utilizzano.

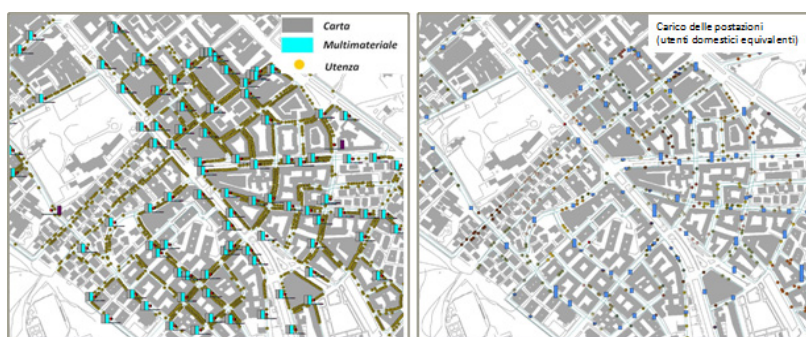


Figura 2 – Qualificazione delle postazioni.



Figura 3 – Andamento delle raccolte di multimateriale nelle postazioni.

L'applicazione degli indicatori all'intero ambito territoriale servito da AMA ha permesso di erogare, nel 2009, dei benefici economici all'utenza domestica in termini di sconto sulla parte variabile della tariffa pagata.

Complessivamente gli sconti riconosciuti sono stati 30.000 (per un totale di 900.000 €), distribuiti tra i venti municipi che articolano il territorio comunale.

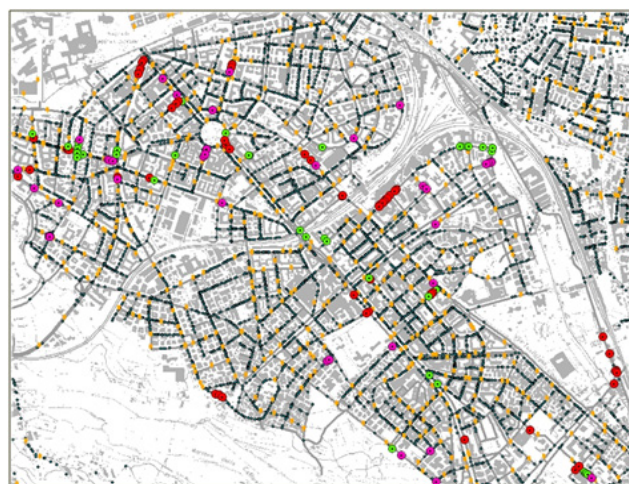


Figura 4 – Ripartizione degli sconti tariffari nel IX Mun. (in colore le diverse tipologie di sconto).

Il secondo gruppo di indicatori è invece descrivibile secondo i seguenti parametri:

- finalità: pianificazione
- contesto: servizio
- utenti: responsabili servizio raccolta RU
- obiettivo strategico: miglioramento del ciclo di gestione dei rifiuti
- obiettivo tattico: miglioramento del processo di raccolta differenziata
- obiettivo operativo: miglioramento della copertura della domanda
miglioramento dell'uso delle risorse
- attività: verifica dello stato di copertura della domanda
verifica dello stato d'uso delle risorse

L'analisi del rapporto tra l'utenza e il servizio di raccolta differenziata alla scala urbana è finalizzata a verificare l'esistenza di una corretta distribuzione delle postazioni di raccolta differenziata (offerta) in relazione alla distribuzione dell'utenza domestica e commerciale (domanda), per identificare (eventualmente) le parti di città che necessitano di una riorganizzazione del servizio.

Gli indicatori calcolati sono i seguenti.

- **Indice di efficacia**
misura il rapporto tra la quantità di servizio potenzialmente erogabile e la domanda potenziale. Il primo termine è calcolato, per ciascuna sezione di censimento e per un intervallo temporale di un mese, come somma dei volumi relativi alle postazioni di raccolta presenti moltiplicati per la frequenza di svuotamento. Il secondo termine è ottenuto come somma delle potenziali produzioni di ciascun utente associato alle postazioni di raccolta. Questo indicatore fornisce l'effettivo livello di copertura della domanda e mette in evidenza eventuali condizioni di deficit o di surplus di offerta.
- **Indice di efficienza**
misura il rapporto tra servizio potenzialmente erogabile, descritto in precedenza, con il servizio effettivamente erogato. Il secondo termine è calcolato in funzione delle quantità effettivamente raccolte nel periodo di riferimento e per ciascuna sezione censuaria. Questo indicatore fornisce una misura della adeguatezza gestionale del servizio e mette in evidenza eventuali diseconomie valutabili in termini di servizi erogati.
- **Indice di performance totale:**
La combinazione dei due indicatori precedenti fornisce una misura sintetica della qualità del servizio effettivamente erogato

Gli indicatori sono calcolati in riferimento alle partizioni territoriali rappresentate dalle sezioni censuarie Istat.

L'indice di efficacia misura i rapporti intercorrenti tra domanda ed offerta; nel caso corrente, in particolare, si è presa in considerazione l'offerta teorica allocata sul territorio misurata dalla seguente formulazione:

$$VSPE = \sum_{c=1}^N V_c * F_c$$

dove:

VSPE: servizio potenzialmente erogabile (litri/mese)

Vc: Volume contenitore (litri)

Fc: frequenza movimentazione contenitore (frequenza mensile)

N: numero di matricole per sezione di censimento

L'indice di efficacia diventa quindi:

IE = combinazione (IDP con VSPE)

dove:

IDP: indice di domanda potenziale;

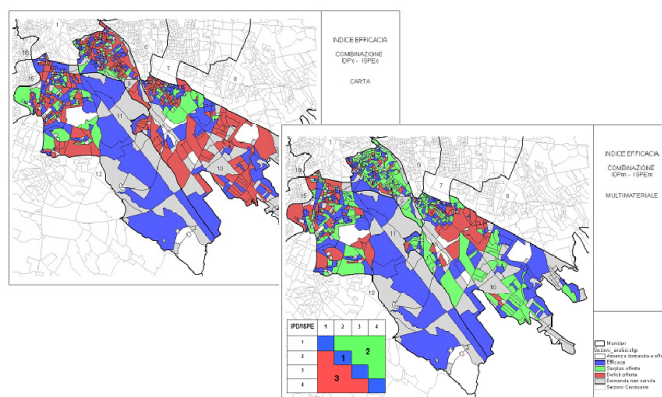


Figura 5 – Indice di efficacia: carta e multi materiale.

I valori assunti dall'indice corrispondono alle seguenti classi:

- classe 1 (in blu in figura: Efficacia) di equilibrio in cui al livello di domanda corrisponde un pari livello di offerta di servizio potenziale.
- classe 2 (in verde in figura: Surplus di servizio) che aggrega i casi in cui i valori di offerta per unità di domanda sono superiori rispetto a quelli della classe 1
- classe 3 (in rosso in figura: Deficit di servizio) aggregante i casi in cui i valori di domanda esuberano quelli dell'offerta rispetto ai valori in classe 1.

La modalità seguita è congeniale alla costruzione non di una misurazione analitica del rapporto domanda / offerta quanto, piuttosto, ma di un indicatore che faccia emergere i casi in cui si registra un andamento squilibrato di tale rapporto, nel verso della domanda od in quello dell'offerta. In altre parole, l'ipotesi gestionale del servizio assunta è che su tutto il territorio si dovrebbe fornire la stessa quantità di offerta a fronte di una stessa quantità di domanda.

È peraltro per tale motivo che tanto la domanda quanto l'offerta sono state valutate nelle loro dimensioni complessive.

L'efficienza di un servizio pubblico è data dal rapporto tra il servizio potenziale ed il servizio effettivamente erogato. Il metodo di calcolo dell'efficienza del servizio di raccolta differenziata di RU è consistito nella costruzione dell'indice rappresentativo del servizio potenzialmente erogabile e dell'indice rappresentativo del servizio effettivamente erogato.

Il servizio effettivamente erogato è stato così calcolato:

$$VSEE = \sum_{i=1}^M V_{ri} = \sum_{c=1}^M sr * V_i$$

Dove:

VSEE: servizio effettivamente erogato (litri/mese)

Vri :volume di rifiuto raccolto per i-esima matricola al mese,

sr : stato di riempimento dell' i-esima matricola nel mese;

Vi :volume del contenitore relativo all' i-esima matricola;

M: numero di matricole movimentate per sezione di censimento.

Il calcolo dell'indice di efficienza è dato dalla classazione del rapporto tra servizio potenzialmente erogabile **VSPE** e servizio effettivamente erogato **VSEE**.

Nella rappresentazione seguente, gli andamenti cromatici dei colori rappresentano livelli crescenti di non efficienza. In verde le sezioni in cui il servizio non è stato erogato nel periodo della sperimentazione.

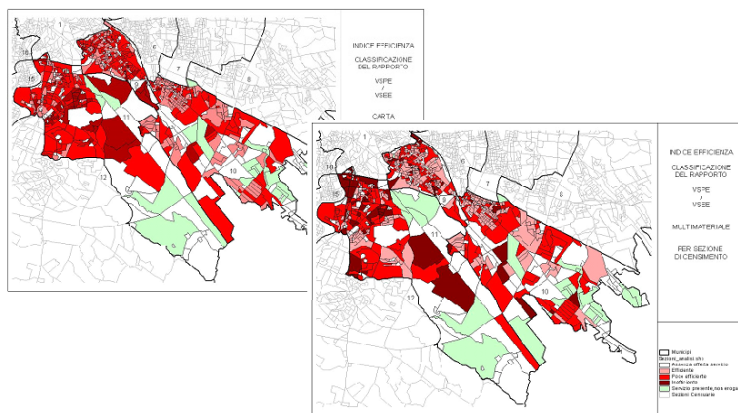


Figura 6 – Indice di efficienza: carta e multi materiale.

La valutazione complessiva della performance del servizio di raccolta differenziata può essere infine determinata mediante un indice che contenga in sé sia l'informazione dell'efficienza che dell'efficacia, ottenuto dalla combinazione degli indici di efficienza ed efficacia.

In particolare, l'indice di performance complessiva è costruito combinando i due indici precedenti e indicizzandolo sui diversi livelli di efficienza del servizio. In tale modo si è ottenuta una ripartizione dell'area in tre ambiti:

- l'ambito in cui il servizio viene svolto in maniera efficiente (esiste cioè un rapporto equilibrato tra offerto e raccolto), ma con articolazioni interne rispetto alla copertura della domanda;
- l'ambito in cui il servizio è svolto in maniera poco efficiente, anche questo articolato per livelli di copertura del servizio;
- l'ambito in cui il servizio è molto inefficiente ed anche in questo caso si fornisce l'indicazione dei diversi livelli di copertura del servizio.

Nell'immagine successiva è dato conto della dislocazione spaziale dei tre ambiti

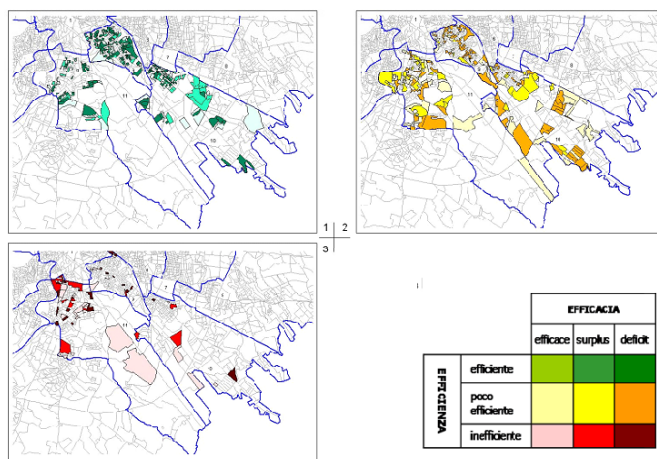


Figura 7 – Indice di performance complessiva.

Conclusioni

Dalla sperimentazione condotta è possibile detratte alcune considerazioni, dal punto di vista dei risultati ottenuti, del metodo generale, delle tecniche e, soprattutto delle informazioni.

Dal punto di vista del metodo è certamente da assumersi come la gestione su base modellistica di grandi fenomeni urbani (ambiente, servizi, etc), in contesti poco strutturati dal punto di vista informativo, sia probabilmente l'unica strada percorribile in tempi brevi.

L'utilizzo di sistemi di elaborazione a base geografica, sul fronte tecnico, rende realistica l'ipotesi di poter sviluppare tali modellistiche poiché, come nel caso trattato, permettono la generazione di entità informative di base altrimenti non disponibili.

Bibliografia

Ioannilli M., Toscani A. (2006), "*Indicatori di Performance del servizio di raccolta differenziata di RU*", *Conferenza tematica AMFM*

Ioannilli M., Lupatteli F. (2004), "*Sistema geografico di supporto alla incentivazione della raccolta differenziata di RSU*", *Atti Conferenza ASITA*

Ioannilli M. (2005), "*Il ruolo dell'informazione geografica nel miglioramento del ciclo di gestione dei rifiuti solidi urbani*", *MondoGIS* n. 47

Caratterizzazione ambientale delle acque del Golfo dell'Asinara (Sardegna) attraverso l'uso di spettrofluorimetria laser e immagini telerilevate

Ileana Iocola (*), Daniele Pittalis (**), Massimo Iannetta (***), Antonella Lugliè (****),
Bachisio Padedda (****), Silvia Pulina (****), Nicola Sechi (****), Luca Fiorani (****),
Ivano Menicucci (****), Antonio Palucci (****)

(*) InTReGA srl, Piazza Ruii 2, 07100 Sassari, Italia, Tel./Fax +39 0794920127, info@intrega.it

(**) Dipartimento di Ingegneria del Territorio, Sezione Geopedologia e Geologia Applicata, Università di Sassari
Viale Italia 39, 07100 Sassari, Italia

(***) UTAGRI, ENEA, Via Anguillarese 301, 00123 Santa Maria di Galeria (Roma), Italia

(****) Dipartimento di Scienze Botaniche, Ecologiche e Geologiche, Università di Sassari
Via Piandanna 4, 07100 Sassari, Italia

(*****) UTAPRAD-DIM, ENEA, Via Enrico Fermi 45, 00044 Frascati, Italia

Abstract

Obiettivo principale di questo studio (finanziato dalla L.R. 7 “Promozione della ricerca scientifica e dell’innovazione tecnologica” della Regione Autonoma della Sardegna per il periodo Maggio 2010 - Maggio 2012) è rappresentato dalla calibrazione di algoritmi bio-ottici per una stima più accurata di Clorofilla-a (Chl-a) nelle acque del Golfo dell’Asinara (Nord Sardegna, Italia) utilizzando dati telerilevati e misure *in situ*.

Le misure *in situ* sono state effettuate con lo spettrofluorimetro laser portatile CASPER (Compact e Advanced Laser Spectrometer - Brevetto ENEA) che ha permesso non solo di quantificare le concentrazioni di Chl-a ma anche di individuare la presenza di altri pigmenti algali (ficoeritrina, ficocianina), di sostanze organiche disciolte (CDOM) e sospese (tirosina, triptofano) e di rilevare l’esistenza di inquinanti dispersi (oli grezzi o raffinati).

Al momento i valori di Chl-a raccolti *in situ* sono stati semplicemente confrontati con i dati ottenuti dall’algoritmo MODIS OC3. Al fine di ottenere migliori risultati l’algoritmo verrà ricalibrato per l’area di studio utilizzando le misure di Chl-a che saranno raccolte durante il prossimo anno di attività di ricerca.

The general objective of this research (financed by L.R. 7 of the Autonomous Region of Sardinia for the period May 2010 –May 2012) is to calibrate bio-optical algorithm for more accurate estimates of phytoplanktonic Chl-a in the Asinara Gulf (Northern Sardinia, Italy) using remote sensing data and *in situ* measurements.

The “sea truth” values of Chl-a were obtained with the new laser spectrofluorometric apparatus CASPER (Compact and Advanced laser SPECTrometerR – Patent ENEA). CASPER permitted not only to quantify values of Chl-a but also to detect other algal pigments (phycoerythrin, phycocyanin), chromophoric dissolved organic matter (CDOM), proteins-like components (tyrosine, tryptophan), and qualitative data on the presence of hydrocarbons and oil pollution

At the moment “sea truth” data of Chl-a were just compared to standard chlorophyll products of MODIS OC3 algorithm. In order to reach better results, the bio-optical algorithm is going to be recalibrated according to the measurements of CASPER during the next year, thus providing new estimates of phytoplanktonic Chl-a in the Asinara Gulf

Introduzione

Il fitoplancton è considerato uno dei principali costituenti dell'ecosistema marino in grado di svolgere un ruolo importante nella regolazione del clima dell'intero pianeta (Cloern & Jassby 2009). La biomassa fitoplanctonica può essere stimata mediante misure di concentrazione di Chl-a (Morel, Berthon, 1989). L'obiettivo principale di questo studio è rappresentato dalla calibrazione dell'algoritmo bio-ottico MODIS OC3 per la stima delle concentrazioni di Chl-a da satellite nelle acque del Golfo dell'Asinara al fine di ottenere delle nuove e più precise equazioni specifiche per l'area di studio. Le differenze tra i diversi algoritmi bio-ottici empirici esistenti a scala globale risiedono principalmente nella scelta delle riflettanze per i rapporti di banda e dei diversi coefficienti. Per migliorare le prestazioni di questi algoritmi nel Mar Mediterraneo sono stati sviluppati nuovi algoritmi regionali che comunque presentano ancora una forte sovrastima o sottostima della Chl-a rispetto ai dati *in situ* se si applicano a scala locale (Colella, 2007). Lo sviluppo di nuove equazioni bio-ottiche previste dal progetto per la definizione di più idonei coefficienti da utilizzare nell'area di studio, permetterà una maggiore accuratezza nella stima da satellite della Chl-a e di conseguenza della biomassa fitoplanctonica.

Metodologia

I dati *in situ* sono stati raccolti in base allo schema di campionamento riportato in Figura 1, stabilito in modo da ottenere informazioni da luoghi con diverso grado di inquinamento (dalla zona industriale di Porto Torres all'area marina protetta del Parco dell'Asinara) e da ricoprire la zona costiera, le aree di mare aperto e la zona eufotica con prelievi a diverse profondità. Sono stati individuati 6 transetti (BL-Balai, RM-Rio Mannu, FS-Fiume Santo, IN-Intermedio presso le Saline, ST-Stintino e CR-Cala Reale) con 3 stazioni a 500m, 1500m e 3000 m di distanza dalla costa e in ogni stazione i campioni di acqua sono stati prelevati a 0 e 10 m di profondità utilizzando una bottiglia Niskin. Attualmente sono stati effettuati 5 campionamenti: il 3/08/2010, il 16/12/2010, il 9/02/2011, il 29/04/2011 e l'8/07/2011. Nell'ultimo campionamento lo schema è stato ampliato per incrementare il numero delle "verità a terra" da confrontare con i dati satellitari.

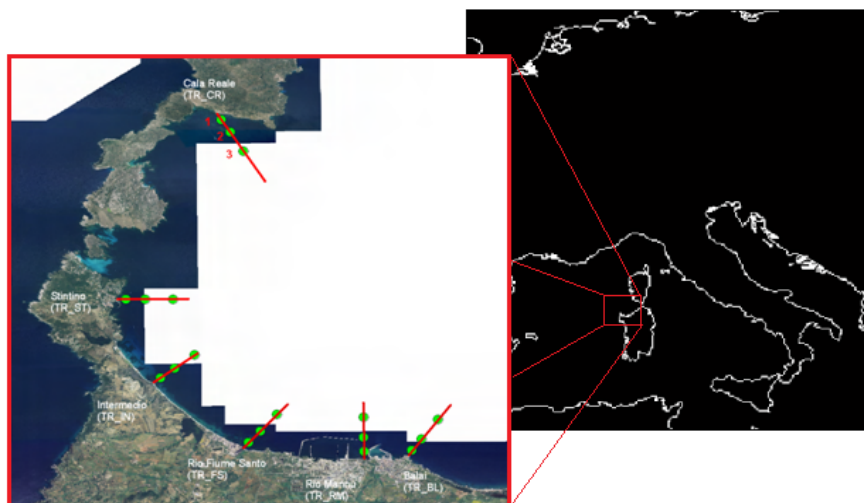


Figura 1— Schema di campionamento.

I campioni di acqua sono stati analizzati in tutte le stazioni con lo spettrofluorimetro CASPER (Brevetto ENEA N° RM2005A000269) realizzato nei laboratori dell'Unità Tecnica Sviluppo di applicazioni delle radiazioni (UTAPRAD) dell'ENEA di Frascati. CASPER (Figura 2) impiega due

sorgenti laser per ottenere una eccitazione selettiva (nell'ultravioletto a 266 nm e nel visibile a 405 nm) ed effettua una doppia filtrazione (il campione viene analizzato tal quale e con filtrazione a 0,22 μm) al fine di ottenere una doppia analisi dello stesso campione per aumentare la discriminazione degli analiti. Per ogni prelievo si ottengono quindi 4 diverse firme spettrali: due firme con eccitazione a 266 nm e 405 nm relative al campione analizzato tal quale e due firme ottenute sempre con le stesse sorgenti di eccitazione ma con campione filtrato.

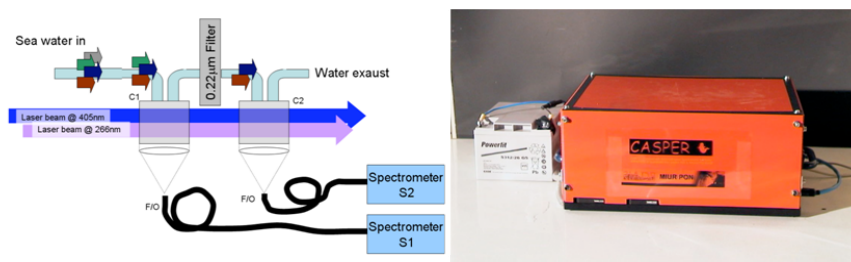


Figura 2 – Apparato Casper: schema a blocchi (a sinistra) e foto del sistema completo (a destra).

Gli spettri raccolti presentano una complessità di contributi dati da ogni singola sostanza presente nel campione che è stato necessario individuare con tecniche di deconvoluzione dopo una prima sottrazione del fondo spettrale. Si è integrato poi il contributo di ogni singola componente spettrale per un intervallo definito di $\Delta\lambda = 10 \text{ nm}$, in modo da compensare gli effetti dovuti allo spostamento del centro banda, e a rilasciare i dati normalizzati al relativo contributo di emissione dovuto allo scattering Raman dell'acqua (concentrazione in unità Raman). La normalizzazione con il segnale Raman dell'acqua permette di avere uno standard interno che tiene conto dei fattori sperimentali e consente di confrontare dati acquisiti da altri strumenti che utilizzano la stessa tecnica (Barbini *et al.* 1999; Colao *et al.*, 2007).

Nei campionamenti di Agosto 2010, Dicembre 2010 e Aprile 2011, nelle stazioni a 500 m dalla costa, grazie alla collaborazione con il Dipartimento di Botanica ed Ecologia Vegetale dell'Università di Sassari, è stata utilizzata una sonda multiparametrica (Idronaut/YSI 6600V2) per ottenere profili verticali di temperatura, salinità, ossigeno disciolto, pH e fChl-a. La trasparenza è stata invece misurata con disco Secchi. Sempre nelle medesime stazioni, in superficie sono stati inoltre prelevati:

- 5 litri di acqua per misure standard di Chl-a in laboratorio con spettrofotometria dopo estrazione del pigmento in acetone a 90% (UNESCO, 1997);
- 2 x 500 ml di acqua fissati uno con soluzione Lugol e l'altro con formaldeide per le analisi del fitoplancton (densità, biomassa e composizione in specie; Utermöhl H., 1958).

Risultati

Spettrofluorimetria laser

In Tabella 1 sono riportati i picchi di emissione spettrale (ognuno associato ad un determinato analita) per il momento individuati ed analizzati con CASPER e restituiti in intensità rapportate alla banda Raman.

Tabella 1 – Lunghezze d'onda analizzate con lo spettrofluorimetro CASPER.

Lunghezze d'onda	□ _{exc} [nm]	□ _{em} [nm]
Laser	266	266
Raman		291
Tirosina		305
Triptopano		345
CDOM		450
Laser	405	405
Raman		468
Ficoeritrina		575
Ficocianina		645
Clorofilla a		680

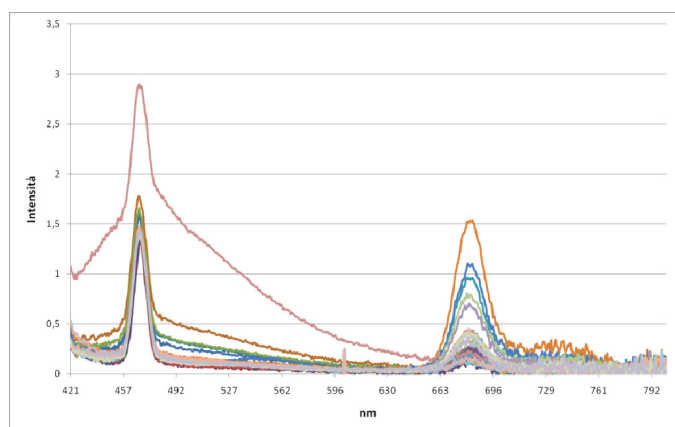


Figura 3 – Esempi di spettri ottenuti con eccitazione a 405 nm e nessuna filtrazione in cui sono evidenti i picchi di Chl-a a 680 nm e la banda del Raman a 468 nm.

L'affidabilità di CASPER per la determinazione dei valori di Chl-a è stata valutata confrontando i risultati di fluorescenza del picco a 680 nm in unità Raman con misure standard di laboratorio ottenute con tecniche spettrofotometriche (Figura 4)

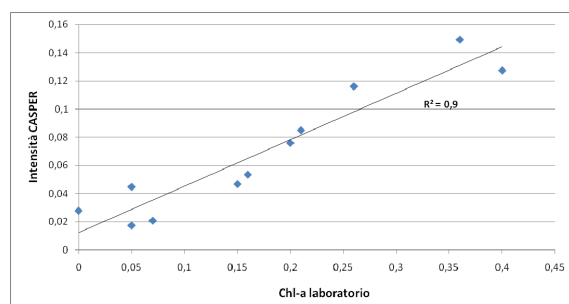


Figura 4 – Correlazione fra le intensità ottenute con CASPER e i valori di laboratorio di Chl-a.

La buona correlazione fra i dati ($R^2 = 0.9$) ha permesso la costruzione di una curva di calibrazione (analisi quantitativa) capace di trasformare i dati di fluorescenza in concentrazioni assolute.

In Tabella 2 è stata riportata una sintesi dei valori di Chl-a superficiali rinvenuti nei diversi campionamenti. Il campionamento di Luglio 2011 è stato omesso in quanto la modifica dello schema con l'inserimento di maggiori punti off-shore e l'eliminazione dei prelievi a 500 m dalla costa, non avrebbe permesso un confronto omogeneo con gli altri dati. I valori più alti di Chl-a sono stati riscontrati nelle stazioni più occidentali (Rio Mannu e Balai) e nei mesi invernali.

Tabella 2 – Valori di Chl-a superficiali (ug/l) ottenuti nei diversi campionamenti.

	Media	Dev.Standard	Valore Massimo	Valore Minimo
Agosto 2010	0.23	0.41	RM 1500 m = 1.54	ST 500 m = 0
Dicembre 2010	0.37	0.19	RM 1500 m = 1.79	ST 3000 m = 0.07
Febbraio 2011	0.83	0.93	BL 1500 m = 3.19	IN 1500 m = 0.07
Aprile 2011	0.22	0.11	RM 1500 m = 0.44	CR 1500 m = 0.08

Lo spettrofluorimetro CASPER si è dimostrato un valido strumento anche per l'individuazione di idrocarburi disciolti o sospesi nell'acqua di mare. Dopo il versamento di circa 45 mila litri di olio combustibile (di tipo Orimulsion) avvenuto l'11 Gennaio 2011 nelle acque del Golfo dell'Asinara a causa di un incidente occorso al molo della centrale elettrica E.on di Fiume Santo durante le operazioni di carico, è stato raccolto del bitume rinvenuto presso la spiaggia.

L'olio combustibile grezzo, eccitato a 266 nm, ha evidenziato una firma spettrale simile a quella ottenuta da acque con presenza di sostanza organica disciolta (CDOM) con picco di emissione a circa 450 nm o a valori maggiori a seconda degli idrocarburi presenti. I due segnali possono però essere differenziati grazie alla filtrazione a 0.22 μm che permette il passaggio della sola CDOM (Figura 5).

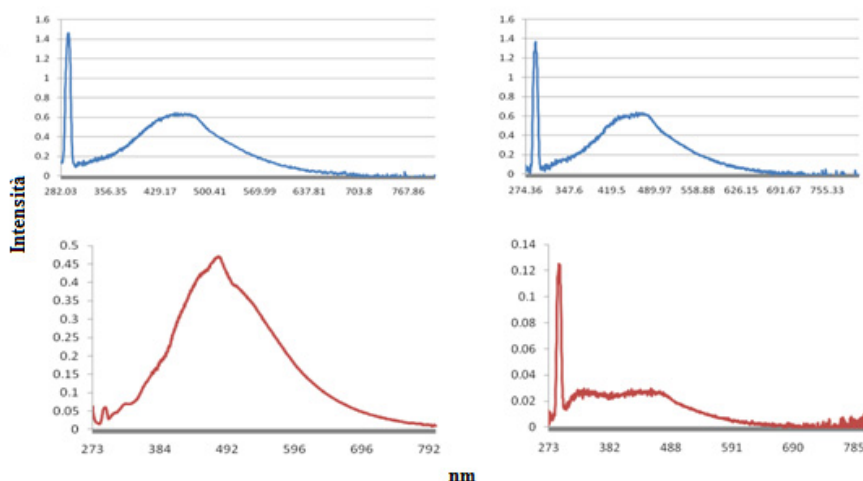


Figura 5 – Firme spettrali di acqua con presenza di CDOM (in alto) e olio grezzo in acqua Milli-Q (in basso) prima (sinistra) e dopo la filtrazione (destra).

Anche gli oli raffinati (tipo diesel o gasolio) si sono dimostrati capaci di emettere fluorescenza con picchi a circa 340-360 nm e possono essere tranquillamente rilevati con la spettrofluorimetria tramite eccitazione in UV. Anche in questo caso le sostanze oleose raffinate non passano dopo filtrazione a 0.22 μm .

In Figura 6 sono riportati gli spettri di emissione (prima e dopo la filtrazione) dei campioni eccitati a 266 nm prelevati a febbraio 2011 ad un mese di distanza dal versamento di olio combustibile. In alcune stazioni si può constatare la presenza di idrocarburi.

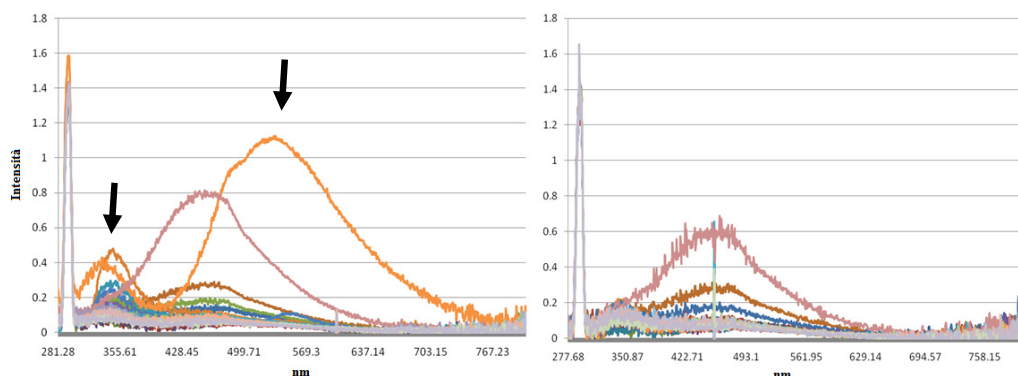


Figura 6 – Spettri con eccitazione a 266 nm prima (sinistra) e dopo la filtrazione (destra) ottenuti durante il campionamento di febbraio 2011.

Analisi del fitoplancton

L'andamento temporale e spaziale della composizione in classi del fitoplancton, relativa ai valori di densità, è riportato in Figura 7. Le Bacillariophyceae, le Dinophyceae e le Cryptophyceae sono state le classi più importanti fra quelle riscontrate nei campionamenti di Agosto e Dicembre 2010, mentre in Aprile 2011 è stata notata una maggiore rilevanza delle Bacillariophyceae e delle Cyanophyceae. Il valore massimo di densità fitoplanctonica ($160 \times 10^3 \text{ cell l}^{-1}$) è stato osservato nella stazione di Balai nel mese di Dicembre 2010.

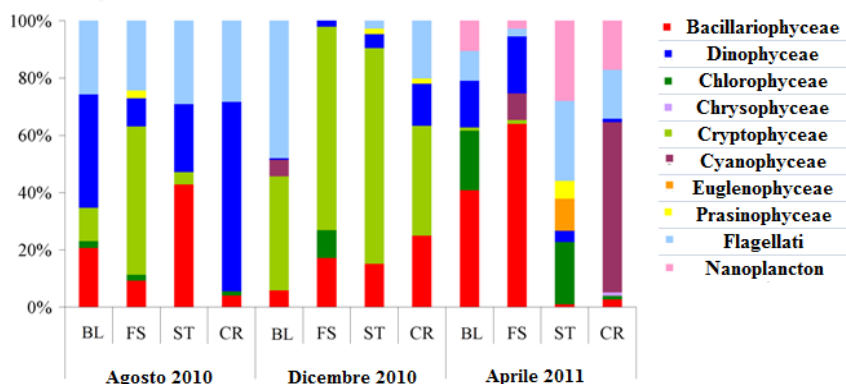


Figura 7 – Andamento temporale e spaziale della composizione in classi del fitoplancton.

Confronto con algoritmo OC3 MODIS

Al momento i valori di Chl-a superficiali raccolti *in situ* sono stati semplicemente confrontati con i dati ottenuti dall'algoritmo MODIS OC3 (Ocean Chlorophyll 3 band). Dal sito oceancolor.gsfc.nasa.gov sono state scaricate le immagini MODIS (disponibili in hdf) di livello 2 con risoluzione di 1 km corrispondenti ai giorni in cui sono stati eseguiti i campionamenti e sono state scartate quelle non sgombre da copertura nuvolosa. Solo le immagini relative ai campionamenti di Agosto 2010, Aprile 2011 e Luglio 2011 hanno presentato le condizioni ideali per procedere con l'elaborazione per ottenere i dati di Chl-a dell'algoritmo bio-ottico (Figura 8). In Figura 9 sono riportati i valori di R² e RMSE (Root Mean Square Error) ottenuti dal confronto nei 3 mesi campionati. Al fine di ottenere migliori risultati l'algoritmo verrà ricalibrato per l'area di studio utilizzando le misure di Chl-a che saranno raccolte durante il prossimo anno di attività di ricerca.

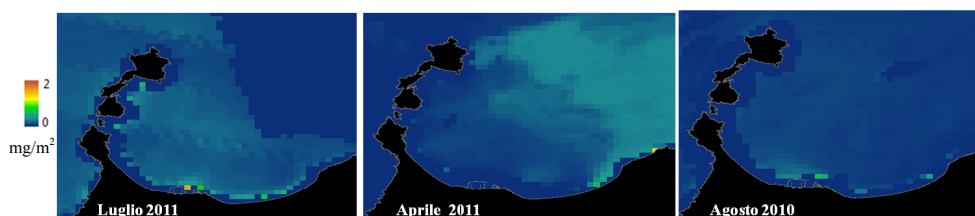


Figura 8 – Mappe di Chl-a ottenute con l'algoritmo bio-ottico MODIS OC3 relative ai diversi mesi di campionamento.

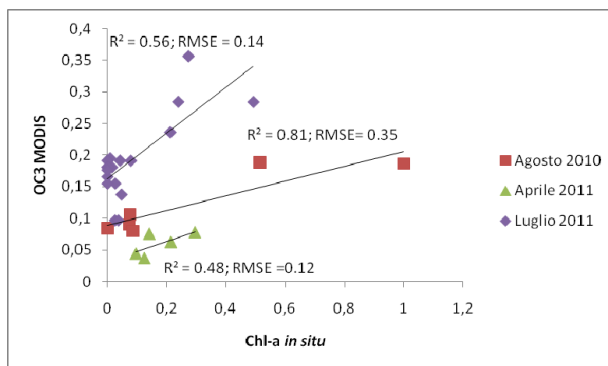


Figura 9 – Confronto dei dati di Chl-a in situ con i dati dell'algoritmo MODIS OC3 nei diversi mesi di campionamento.

Conclusioni

Le misure effettuate nel Golfo dell'Asinara attraverso lo spettrofluorimetro CASPER stanno consentendo non solo la determinazione su larga scala della clorofilla ma anche l'individuazione e la quantificazione di altre sostanze organiche o inquinanti dispersi nelle acque. L'acquisizione di nuove informazioni sulle modalità di fluorescenza di ogni sostanza organica individuata sta permettendo quindi la realizzazione di una libreria spettrale che potrà essere utilizzata in qualsiasi altro studio per l'individuazione rapida delle sostanze incognite.

La calibrazione dell'algoritmo bio-ottico MODIS richiede invece l'integrazione di ulteriori rilevamenti di "verità a terra" che saranno ottenuti grazie ai campionamenti previsti nel prossimo

anno di attività. Infatti una calibrazione più affidabile e robusta potrà essere raggiunta solo attraverso l'uso di un numero cospicuo di misure puntuali che considerino anche la variabilità intra-annuale a cui è soggetto il fitoplancton.

Bibliografia

- Barbini R., Colao F., Fantoni R., Palucci A., S. Ribezzo (1999), "Shipborne laser remote sensing of the Venice lagoon". *International Journal of Remote Sensing*, 20: 2405-2421
- Cloern J.E. and Jassby A.D. (2009), "Patterns and scales of phytoplankton variability in estuarine-coastal ecosystems", *Estuaries and Coasts* DOI: 10.1007/s12237-009-9195-3
- Colao F., Demetrio E., Drozdowska V., Fiorani L., Lazic V., Okladnikov I.G., Palucci A. (2007), "Seawater dual fluorescence analysis during the arctic summer 2006 polish oceanographic campaign". *EARSeL Workshop Remote Sensing of the Coastal Zone*. 7-9 June 2007, Bolzano, Italy
- Colella S. (2007), "La produzione primaria nel Mar Mediterraneo da satellite: sviluppo di un modello regionale e sua applicazione ai dati SeaWiFS, MODIS e MERIS". Tesi di Dottorato. Università "Federico II" di Napoli, Italia.
- Morel A., Berthon J.F. (1989), "Surface pigments, algal biomass profiles, and potential production of the euphotic layer: relationship reinvestigated in view of remotesensing applications". *Limnology and oceanography*, 34(8): 1545-1562.
- UNESCO (1997), "Phytoplankton pigments in oceanography: guidelines to modern methods" Jeffrey S.W., Mantoura R.F.C., Wright S.W., (eds.), UNESCO, Monographs on Oceanographic Methodology, 10, Paris, 661pp.
- Utermöhl H. (1958), "Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik". *Mitteilungen Internationale Vereins Theoretisch Angewiesen Limnologie*, 9: 1-38.
- Smayda T. J. (1978) From phytoplankton to biomass. UNESCO Phytoplankton Manual, pp. 273-279.

Utilizzo di tecniche di landscape analysis e Remote Sensing per la caratterizzazione della nicchia ecologica delle specie di *Culicoides* appartenenti all'Obsoletus Complex

Ippoliti C. (*), Conte A. (*), Bocci M. (**), Goffredo M. (*),
Salini R. (*), Gadenz S. (**), Lelli R. (*)

(*) Istituto "G. Caporale", Via Campo Boario, Teramo, Tel. +39 0861 3321, Fax +39 0861 332251

(**) Geographike S.R.L., Via Sansedoni 7, 53100 Siena, Tel./Fax +39 0577 588408

Sommario

La Bluetongue è una malattia infettiva dei ruminanti, diffusa in tutta Europa, che ha una ricaduta economica imponente, derivante dal blocco del commercio degli animali. E' trasmessa da insetti vettori appartenenti al genere *Culicoides* (Diptera: Ceratopogonidae) e quindi la sua diffusione è strettamente legata all'ecologia dei vettori stessi.

Obiettivo del lavoro è verificare se le singole specie dell'Obsoletus Complex (*Culicoides obsoletus*, *C. scoticus* e *C. montanus*), diffuse e abbondanti in tutta Europa, condividono la medesima nicchia ecologica o si distribuiscono diversamente sul territorio in base a fattori di rischio specifici.

Nell'ambito del Piano Nazionale di Sorveglianza Entomologica sono stati selezionati i siti di cattura rilevanti per presenza e abbondanza dell'Obsoletus Complex, ed è stata effettuata l'identificazione delle singole specie. Ad ogni sito è stata associata la specie prevalente.

Sul territorio Italiano sono stati identificati 65 siti di cattura, e tutte le variabili sono state estratte nel buffer di 1 km di raggio attorno ad essi.

Nel modello sono state considerate variabili topografiche (altitudine, pendenza, esposizione dei versanti, intensità di rilievo), climatiche ed ambientali.

I dati MODIS per gli anni 2000-2010, con risoluzione spaziale sia di 1 km che 250 m sono stati scaricati, pre-processati e analizzati con analisi di Fourier, estraendo, per ciascun buffer, la media annuale, l'ampiezza e la fase del ciclo annuale e del ciclo semestrale dagli indici di vegetazione (NDVI e EVI del prodotto MOD13Q1) e dalle temperature (Land Surface Temperature del prodotto MOD11A2).

Dati dell'uso del suolo di dettaglio, sono state derivate da ortofoto disponibili come servizi dal Portale Cartografico Nazionale del Ministero dell'Ambiente e sono stati integrate nelle analisi insieme alle principali metriche di ecologia del paesaggio.

L'utilizzo di tecniche di ecologia del paesaggio e di Analisi di Fourier su serie temporali di dati telerilevati permettono di individuare e descrivere le relazioni tra ambiente, clima e vettore ad una "alta" scala di dettaglio, utili per successive fasi di modellazione previsionale delle epidemie.

Abstract (in inglese)

Bluetongue (BT) is an arthropod-borne infectious disease of ruminants and it is present in Mediterranean basin and continental Europe: economic losses are mainly related to the ban on movements and trade. The disease is transmitted by vectors belonging to the genus *Culicoides* (Diptera: Ceratopogonidae) and its spread is related to the ecology of the vector species.

The aim of this paper is to verify if the species of the Obsoletus Complex (*Culicoides obsoletus*, *C. scoticus* and *C. montanus*), present and abundant in whole Europe, share the same ecological niche or if different environmental patterns influence the distribution of the species.

In the frame of the Italian Entomological Surveillance Plan for BT, the identification of the single species belonging to the *Obsoletus* Complex have been performed from selected sites where the Complex was abundant. Each site has been associated with the predominant species, with a total of 65 sites on the whole Italian territory.

A number of topographic (elevation, slope, aspect, range of altitudes), climatic and environmental variables have been referred to 1 km radius buffer around each site, and included in the model.

MODIS data at 1 km and 250 m spatial resolution for the period 2000-2010 have been downloaded, pre-processed and submitted to a Fourier analysis. For each buffer, the annual mean, amplitude and phase of the annual and bi-annual cycles have been extracted for the vegetation Indexes (NDVI and EVI of MOD13Q1 product) and temperature (Land Surface Temperature of MOD11A2 product).

Detailed information on land use has been derived from orthophoto images available as Web Services in the National Geoportal of the Italian Ministry for Environment. The main metrics of landscape ecology have been derived and integrated in the analysis.

Using landscape ecology techniques and Fourier analysis on temporal series of remote sensed data, helps in identify and describe the relationships between environment, climate and vector to a "high" level of detail, useful for subsequent phases of predictive modelling epidemics.

Introduzione

L'*Obsoletus* Complex è un gruppo di specie, morfologicamente non distinguibili, appartenenti al sottogenere *Avaritia* del genere *Culicoides* (Diptera: Ceratopogonidae) (Meiswinkel et al, 2004). Questo Complex, largamente diffuso ed abbondante in tutta Europa, è coinvolto nella trasmissione del virus della bluetongue (BT) (Savini *et al.* 2003, 2005; De Liberato 2005), ed ha assunto particolare rilevanza epidemiologica in seguito all'epidemia di BT che si è verificata in Nord Europa a partire dal 2006.

A causa delle difficoltà di identificazione specifica, le analisi delle variabili ecologico/ambientali sono state effettuate finora considerando l'intero Complex (Conte *et al.* 2003, 2007) e non le singole specie di *Culicoides* morfologicamente riferibili al Complex stesso.

A tale proposito è stata messa a punto, presso l'Istituto "Caporale" di Teramo, una metodica di identificazione tramite PCR, che permette la identificazione specifica di *C. obsoletus sensu strictu*, *C. scoticus*, *C. dewulfi* e *C. montanus* (Gomulski et al 2005; Goffredo et al 2008; Monaco et al 2010), ed è stata effettuata una mappatura delle singole specie in Italia.

Per valutare le caratteristiche ambientali e climatiche che favoriscono o inibiscono il proliferare delle singole specie, si propone l'utilizzo di dati telerilevati a media ed alta risoluzione e tecniche di ecologia del paesaggio, rispetto ai soli dati da satellite finora utilizzati negli studi sui *Culicoides* (Purse et al., 2005; Rogers et al., 2002). L'offerta di dati derivati da Remote Sensing è oggi sempre più ampia a varie risoluzioni spaziali, temporali e radiometriche, facilitando una più accurata individuazione della relazione tra presenza dell'insetto e potenziale fattore di rischio.

L'ecologia del paesaggio (landscape ecology) nasce dall'esigenza di studiare il territorio, e le configurazioni spaziali che gli ecosistemi assumono nel territorio stesso. Essa è una disciplina dell'ecologia e della geografia fisica che studia la distribuzione spaziale degli elementi che costituiscono il paesaggio e l'ambiente (Forman et al., 1986). Un contesto "monotono" dal punto di vista della tipologia di uso e copertura del suolo potrebbe, infatti, differenziarsi dal punto di vista dell'habitat dei *Culicoides*, da altri ambienti molto eterogenei e frammentati, in cui si susseguono varietà di paesaggi diversi. La sola analisi statistica sulle tipologie di uso del suolo non è sufficiente per discriminare queste tipologie di ambiente, e deve essere affiancata da specifici indicatori che consentano di valutare quantitativamente la struttura del paesaggio.

Tali tecniche di ecologia del paesaggio sono state già applicate per caratterizzare gli ambienti in cui alcune specie animali, vettori di malattie, sono più presenti e/o abbondanti (Kitron, 1998; Estrada-Peña et al., 2010; Lambin et al., 2010; Vanhuyse et al., 2010).

Tali attività sono state condotte nell'ambito della ricerca "Analisi delle variabili ecologico/ambientali associate alla distribuzione di *C. obsoletus s.s.*, *C. scoticus* e *C. montanus*,

attraverso l'utilizzo di tecniche di landscape analysis e Remote Sensing" finanziata dal Ministero della Salute, Dipartimento per la Sanità Pubblica Veterinaria, la Nutrizione e la Sicurezza degli Alimenti.

In questo lavoro saranno illustrate le tecniche utilizzate per verificare se le specie dell'Obsoletus Complex condividono la medesima nicchia ecologica o si distribuiscono diversamente sul territorio in base a fattori di rischio specifici e saranno presentati i risultati preliminari ottenuti.

Materiali e metodi

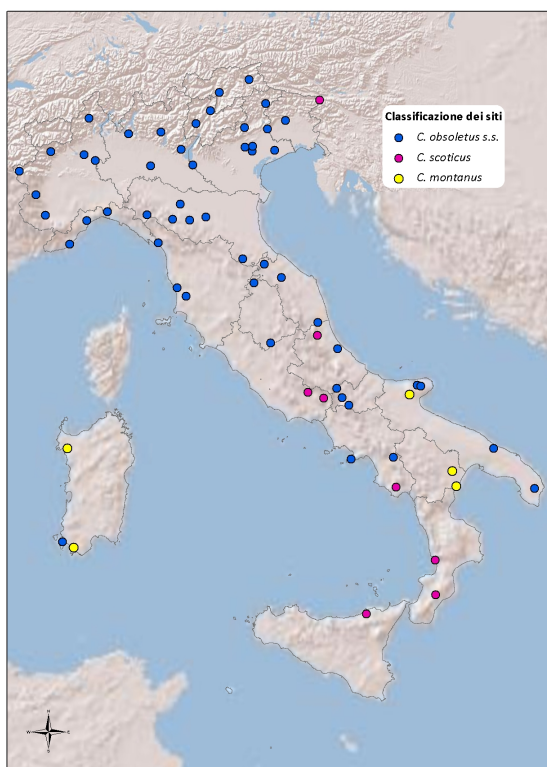


Figura 1 – Distribuzione geografica dei siti selezionati per le analisi di Remote Sensing e le associazioni alle variabili climatiche ambientali.

Dati ambientali

Nel modello sono state considerate variabili topografiche (altitudine, pendenza, esposizione dei versanti, intensità di rilievo) (Tabella 2), climatiche (LSTD – MODIS Land Surface Temperature Day) (Tabella 4) ed ambientali (uso del suolo, NDVI – MODIS Normalized Difference Vegetation Index, EVI – MODIS Enhanced Vegetation Index) (Tabelle 4 e 6).

Per ognuno dei 65 siti di cattura identificati, è stato creato un buffer di 1 km di raggio e tutti gli strati informativi sono stati a questo riferiti.

Le variabili climatiche ed ambientali sono state inserite in un unico geodatabase contenente limiti amministrativi (regione, province e comuni) in aggiunta ai risultati entomologici selezionati per i siti di cattura. La gestione e l'elaborazione dei dati sono avvenute con il software ArcGIS 10 di ESRI®.

Dal Modello Digitale del Terreno (DEM) a 20 metri di risoluzione, sono stati estratti i dati riportati in tabella 2.

Dati entomologici

Nell'ambito della collezione di *Culicoides* del Piano Nazionale di Sorveglianza Entomologica della BT sono stati selezionati i siti in cui l'Obsoletus Complex è risultato particolarmente abbondante (>80% del totale dei *Culicoides*). Successivamente, da ogni sito così selezionato, sono stati estratti casualmente almeno 20 esemplari appartenenti all'Obsoletus Complex e sottoposti singolarmente ad identificazione di specie tramite PCR, per la caratterizzazione in *C. obsoletus s.s.*, *C. scoticus* e *C. montanus*.

Dopo aver identificato tramite PCR i *Culicoides* di ogni sito, l'intervallo di confidenza al 95% della percentuale di specie prevalente è stato definito utilizzando un approccio statistico bayesiano tramite la distribuzione Beta(s+1, n-s+1).

In figura 1 è riportata la distribuzione geografica dei 65 siti considerati e la caratterizzazione in base alla specie prevalente.

Variabile	Descrizione
ALTITUDINE	Altitudine s.l.m. del sito di cattura (in metri)
RANGE ALTITUDINI	Intensità di rilievo (detta anche "energia di rilievo") misura il dislivello massimo presente in una superficie unitaria
SLOPE	Pendenza percentuale media
ESPOSIZIONE_PREVALENTE	Classe di esposizione dei versanti (riclassificato in N,NE,E,SE,S,SO,O,NO) prevalente del buffer

Tabella 2 – Metadati degli strati informativi geografici orografici.

I dati MODIS per gli anni 2000-2010, sono stati scaricati, pre-processati e analizzati con analisi di Fourier, estraendo, per ciascun buffer, la media annuale, l'ampiezza e la fase del ciclo annuale e del ciclo semestrale dagli indici di vegetazione (NDVI ed EVI del prodotto MOD13Q1, 250 m di risoluzione) e dalle temperature (Land Surface Temperature del prodotto MOD11A2, 1 km di risoluzione).

I prodotti scelti sono realizzati mediante elaborazioni che sintetizzano l'andamento medio dei rispettivi parametri per un intervallo di tempo dato (16 giorni per il MOD13Q1 ed 8 giorni per il MOD11A2).

Le attività di preprocessing si sono svolte con la successione delle seguenti fasi:

1. importazione dal formato hdf al formato img dei soli layer individuati per la ricerca;
2. mosaicatura dei 4 frame;
3. trasformazione dalla proiezione sinusoidale a quella WGS84 UTM33;
4. subset dell'area italiana;
5. trasposizione del dato finale nell'unità di lavoro:
 - a. per la temperatura il valore è stato riportato in gradi centigradi,
 - b. per gli indici NDVI ed EVI si è riportato il valore nel range -0.002 – 1.

Le varie operazioni sono state svolte mediante script in Python in ambiente ArcGIS, con ridotti interventi dell'operatore, limitati alla modifica dei file di comando e alla verifica dei risultati.

I dati MODIS sono stati processati in ambiente Idrisi mediante il modulo STA (Seasonal Trend Analysis). Si è scelto di considerare il periodo 2001-2010, per la mancanza di dati nel primo anno della raccolta, il 2000.

Sono state condotte delle prime operazioni di MDI (Missing Data Interpolation) in quanto, soprattutto i dati di temperatura presentano pixel con assenza di dato, in corrispondenza di periodi particolarmente nuvolosi e con abbondante copertura nevosa. Tali operazioni sono state condotte più in particolare con la successione delle seguenti 3 fasi:

- 1 - LTI - Linear temporal interpolation (provvede alla interpolazione del dato analizzando per lo stesso pixel le date precedenti e successive);
- 2 - SI - Spatial interpolation (provvede alla interpolazione del dato mancante mediante un'analisi dell'intorno del pixel nella stessa immagine);
- 3 - Climatology - temporal median (provvede all'interpolazione mediante analisi su tutti i pixel delle altre immagini nello stesso periodo).

Successivamente il modulo STA analizza tutto il volume di dati, rappresentati in figura 3.

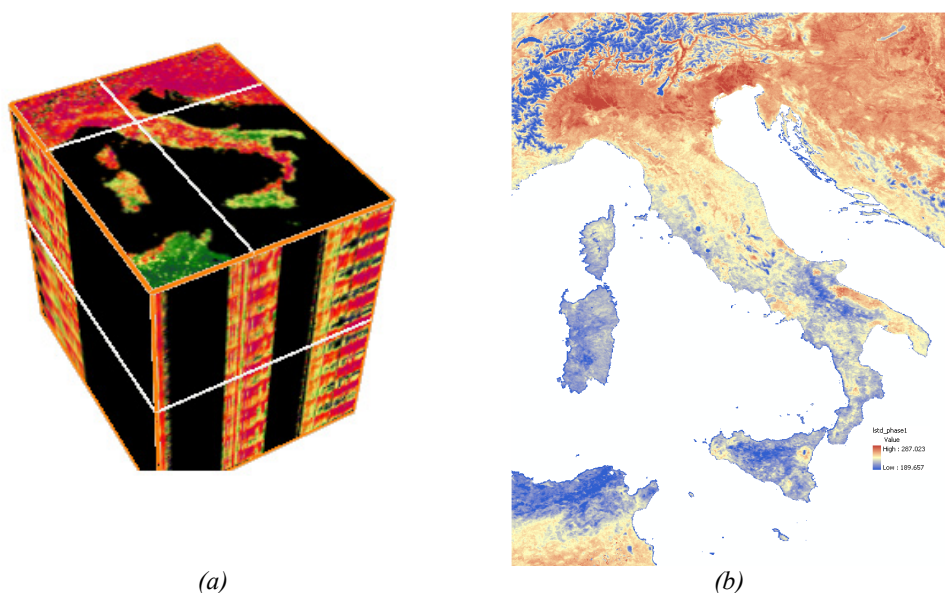


Figura 3 – Immagini satellitari MODIS: la serie multitemporale (a) e la fase 1 della temperatura (LSTD_F1_MEDIA).

Il metodo implementato, secondo quanto esposto in “Seasonal trend analysis of image time series” di J. Ronald Eastman et al., 2009, si basa sull’analisi di fenomeni periodici riconducibili ad alcune armoniche principali. Per fenomeni annuali la maggior parte di informazioni risiede nelle armoniche 1 (ciclo annuale) e 2 (ciclo semestrale).

L’analisi produce una vasta serie di dati di output, compresi elementi per valutare i trend nel tempo. Per gli obiettivi dello studio in oggetto si è scelto di estrarre le informazioni medie del periodo in quanto potenzialmente indicative di legami con gli habitat delle specie in esame.

I dati di sintesi, sia per la temperatura (LSTD) che per gli indici di vegetazione (EVI e NDVI) sono stati pertanto i seguenti:

Variabile	Descrizione
LSTD_A0_MEDIA	Temperatura media diurna registrata negli anni 2001-2010 nel buffer
LSTD_A1_MEDIA	Ampiezza massima della 1 armonica di temperatura
LSTD_A2_MEDIA	Ampiezza massima della 2 armonica di temperatura
LSTD_F1_MEDIA	Fase della 1 armonica di temperatura
LSTD_F2_MEDIA	Fase della 2 armonica di temperatura
NDVI_A0	Media negli anni 2001-2010 nel buffer dell’indice di vegetazione NDVI
NDVI_A1	Ampiezza della 1 armonica dell’NDVI
NDVI_A2	Ampiezza della 2 armonica dell’NDVI
NDVI_F1	Fase della 1 armonica dell’NDVI
NDVI_F2	Fase della 2 armonica dell’NDVI
EVI_A0	Media negli anni 2001-2010 nel buffer dell’indice di vegetazione EVI
EVI_A1	Ampiezza della 1 armonica dell’EVI
EVI_A2	Ampiezza della 2 armonica dell’EVI
EVI_F1	Fase della 1 armonica dell’EVI
EVI_F2	Fase della 2 armonica dell’EVI

Tabella 4 – Metadati degli strati informativi geografici derivati da remote sensing.

I dati dell'uso del suolo di dettaglio, sono stati derivati da ortofoto disponibili come servizi dal Portale Cartografico Nazionale del Ministero dell'Ambiente.

La classificazione dell'uso del suolo è stata fatta mediante fotointerpretazione, basandosi sulla Legenda del Corine Land Cover – Livello 3 (EAA Technical Report, 2007).

Nella seguente figura si evidenzia l'intorno di 1 km di raggio centrato su un'azienda, nel contesto delle ortofoto del servizio PCN e con la classificazione dell'Uso del Suolo.



Figura 5 – Un esempio della classificazione di dettaglio dell'uso del suolo nell'intorno di 1 km di un sito di cattura.

Le principali metriche di ecologia del paesaggio (area, numero di poligoni, Shape Index) sono state indagate ed incluse nelle analisi.

Dato che per ogni sito l'area del buffer costituisce l'entità areale di riferimento, la numerosità dei poligoni ne rappresenta un primo indicatore di struttura paesaggistica; con il calcolo della metrica "shape index", basata sul seguente rapporto:

$$\text{Shape index} = \text{perimetro}/4 \cdot \text{radq}(\text{area})$$

è possibile poi completare l'analisi quantitativa della struttura territoriale con informazioni specifiche sul grado di compattezza delle varie unità del paesaggio. Alti valori di shape index indicano forme molto contorte e complesse, mentre valori bassi sono caratteristici di forme compatte.

Variabile	Descrizione
URBANO	Percentuale di superficie artificiale nel buffer
COLTIVATO	Percentuale di superficie coltivata nel buffer
VEGETAZIONE SEMINATURALE	Percentuale di superficie con vegetazione semi-naturale nel buffer
BOSCHI	Percentuale di superficie boscata nel buffer
VEGETAZIONE SPONTANEA	Percentuale di superficie con vegetazione spontanea nel buffer
ACQUE	Percentuale di superficie coperta da acque nel buffer
NUM POLY	Metrica di landscape analysis - numero di poligoni nel buffer – misura dell'eterogeneità territoriale in termini di pezzatura di areali a diversa tipologia
SHAPE INDEX	Metrica di landscape analysis - $\text{perimetro}/4 \cdot \text{radq}(\text{area})$ – misura del grado di compattezza delle varie unità del paesaggio

Tabella 6 – Metadati degli strati informativi geografici derivati da fotointerpretazione ed ecologia del paesaggio.

Analisi statistiche

I dati entomologici sono stati strutturati in modo da ottenere due gruppi cui applicare le successive analisi:

siti di cattura con specie prevalente *C. obsoletus* s.s. (n= 52)

siti di cattura con specie prevalente *C. scoticus* (n= 8).

Nei due gruppi (*C. obsoletus s.s.* e *C. scoticus*), per ciascuna variabile è stata calcolata la media e il relativo intervallo di confidenza al 95%.

E' stato effettuato un confronto tra i due gruppi per ciascuna variabile mediante test non-parametrico per campioni indipendenti di Mann Whitney per verificare la presenza di differenze statisticamente significative (Siegel et al., 1988).

Sette variabili hanno evidenziato differenze statisticamente significative tra *C. obsoletus s.s.* e *C. scoticus* (p-value<0,05).

Dopo questa prima analisi, si è deciso di eliminare l'insieme delle variabili legate all'indice EVI, essendo correlate per media, ampiezza e fasi con le omologhe dell'NDVI (Goetz, 2000) ed è stata applicata una regressione logistica multipla stepwise di tipo backward sui dati disaggregati, considerando la numerosità degli insetti identificati in ogni sito e non la mera prevalenza di una specie sull'altra (Ricci, 2006). In questo modo la presenza/assenza di *C. obsoletus s.s.* è stata considerata come variabile risposta della regressione logistica.

La regressione logistica stepwise ha prodotto un modello che include 17 variabili invece delle 20 iniziali, considerando l'interazione tra le variabili, ed ha l'indice pseudo $R^2 = 0,343$.

Le analisi statistiche sono state effettuate utilizzando il software statistico open-source R (R Development Core Team, 2010).

Risultati

I coefficienti del modello della regressione logistica hanno evidenziato caratteristiche ambientali peculiari per le due specie *C. obsoletus s.s.* e *C. scoticus*.

L'NDVI A0, misura del rigoglio vegetativo, e l'NDVI A1, escursione annuale dello stesso, contribuiscono, con la stessa magnitudo ed in maniera opposta nell'habitat del *C. obsoletus s.s.*: il *C. obsoletus s.s.* è presente su basse colline (altitudine media di circa 360 m), dove l'ambiente agricolo è prevalente (il 50% dei buffer è classificato come agricolo), quindi il valore medio di rigoglio vegetativo è più basso (media di NDVI_A0 = 0,57) e l'escursione annuale è maggiore (NDVI_A1 = 0,15). Viceversa, il *C. scoticus* è presente a quote più alte (altitudine media di circa 460 m), dove l'intensità media del verde durante l'anno (NDVI_A0 = 0,67) è più alta per la presenza di ambienti più naturali e minore intervento umano (16% di vegetazione naturale, 33% di boschi, solo 4% di urbano). Questi fattori contribuiscono ad una minore escursione (NDVI_A1 = 0,11) del rigoglio vegetativo durante l'anno.

Le variabili legate all'uso del suolo contribuiscono tutte con magnitudo simile e nella stessa direzione a spiegare la presenza del *C. obsoletus s.s.*, evidenziando che questa specie è presente in ogni categoria ed uso del suolo. Viceversa, ognuna di queste categorie è associata negativamente alla presenza di *C. scoticus*.

La variabile Shape index applicata ai poligoni di uso del suolo nel buffer considerato, assume alti valori per forme molto contorte e complesse, tipiche di vegetazione spontanea, mentre valori bassi sono caratteristici di forme compatte, tipiche di ambienti in cui l'uomo con la sua attività influenza il paesaggio. La presenza di *C. obsoletus s.s.* è associata negativamente a tale indice (shape index = -3,151), contrariamente al *C. scoticus*.

Le variabili legate all'altitudine e alla temperatura (in misura minore), seppur significative, non influenzano molto la presenza delle due specie (coefficienti molto piccoli, compresi tra -1 e 1).

Per i siti a prevalenza *C. montanus* si è proceduto ad estrarre tutte le variabili come sopra descritto e, data l'esiguità degli stessi, si è proceduto ad una descrizione qualitativa degli stessi.

Essi sono caratterizzati da un valore medio di temperatura diurna al suolo elevato (23,6°C - 25,3°C) e una latitudine massima di 41,7°N.

La fase 1 della temperatura al suolo (250 – 256 giorni) ha una minima escursione tra i 5 siti di cattura (il coefficiente di variazione che misura la variabilità relativa tra i valori è 1%, il valore più basso tra tutte le variabili considerate).

L'uso del suolo prevalente nel buffer di 1 km attorno a ciascun sito di cattura è il Coltivato (rappresenta più del 50% per 3 siti).

Conclusioni

L'utilizzo di tecniche di ecologia del paesaggio e di Analisi di Fourier sulle variabili ambientali e climatiche permettono di individuare e descrivere le relazioni tra l'ambiente e le specie potenziali vettori di malattie animali ad una "alta" scala di dettaglio.

Dal punto di vista dei dati satellitari, lo studio ha permesso di sperimentare tecniche di telerilevamento nel campo dell'epidemiologia e dell'entomologia a livello nazionale con risoluzioni spaziali molto elevate (250 metri di risoluzione per la temperatura diurna al suolo e per gli indici di vegetazione, e livello 3 della legenda Corine per la classificazione dell'uso del suolo, impiegando ortofoto con risoluzione 1m).

Lo studio dell'habitat di insetti potenziali vettori di BT a livello di composizione dell'uso del suolo in 1 km di buffer, e l'identificazione di landscape favorevoli o non idonei alla loro sopravvivenza, permette di identificare aree potenzialmente a rischio di introduzione e/o diffusione della malattia.

L'utilizzo di indici derivati quali le ampiezze e fasi delle trasformate di Fourier, permette di caratterizzare impronte uniche degli habitat, come medie, momenti e magnitudini dei picchi stagionali di valori di temperatura e vegetazione.

Nello studio in oggetto, le tre specie condividono spesso lo stesso habitat, ma i dati raccolti permettono di differenziare qualche caratteristica peculiare dell'habitat delle singole specie, anche se l'esigua numerosità dei siti classificati probabilisticamente a prevalenza *C. scoticus* (n. 8) e *C. montanus* (n. 5) rispetto ai siti a prevalenza *C. obsoletus* s.s. (n. 52) non permette sempre di darne conferma statistica.

I dati permettono di concludere che *C. obsoletus* s.s. sia una specie più facilmente adattabile a diversi habitat, concordemente con la minore altitudine media e la maggior presenza di territori coltivati ed urbanizzati, a maggior impatto di attività umane. Invece *C. scoticus* è risultato più selettivo nelle preferenze di habitat, con minore capacità generale di adattamento: la preferenza sembra per siti a prevalenza di vegetazione naturale e boschiva, con vegetazione spontanea e con minima antropizzazione. Infine per quanto riguarda *C. montanus*, i siti in cui è risultato probabilisticamente rilevante hanno in comune un valore medio di temperatura diurna al suolo elevato ed è presente nelle regioni del sud Italia.

La ricaduta epidemiologica di questi risultati è di grande interesse, in quanto le conoscenze acquisite con questo progetto rappresentano il punto di partenza per la creazione di mappe di rischio più dettagliate sulle possibilità di diffusione della BT e di altri virus esotici trasmessi da *Culicoides*.

Bibliografia

1. Conte A., Colangeli P., Bocci M., Galante F., Caporale V. (2003) "Realizzazione di un GIS per la gestione dell'epidemia di Bluetongue in Italia", in "e-geography: GIS e società", Atti della 6ª Conferenza Italiana Utenti ESRI – Roma, 9-10 aprile 2003.
2. Conte A., Goffredo M., Ippoliti C. and Meiswinkel R., (2007) Influence of biotic and abiotic factors on the distribution and abundance of *Culicoides imicola* and the *Obsoletus* Complex in Italy. *Veterinary Parasitology* 150 (2007) 333–344.
3. De Liberato C., Scavia G., Lorenzetti R., Scaramozzino P., Amaddeo D., Cardati G., Scicluna M., Ferrari G. & Autorino G.L. (2005) Identification of *Culicoides obsoletus* (Diptera: Ceratopogonidae) as a vector of bluetongue virus in central Italy. *Veterinary Record* 156 : 301-304.
4. EEA Technical Report 2007. CLC2006 Technical guidelines No 17/2007 - European Environment Agency, <http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>
5. Eastman J.R., F. Sangermano, B. Ghimire, H. Zhu, H. Chen and N. Neeti et al. (2009) Seasonal trend analysis of image time series, *International Journal of Remote Sensing* 30 (10), pp. 2721–2726
6. Estrada-Peña A; Vatansever Z; Gargili A; Ergönul O (2010) The trend towards habitat fragmentation is the key factor driving the spread of Crimean-Congo haemorrhagic fever. *Epidemiology and infection* 2010;138(8):1194-203.

7. Forman R.T.T., Godron M. (1986) Landscape ecology. New York, NY, John Wiley and Sons. 619 p.p.
8. Goetz S.J., Prince, S.D., and Small, J., (2000) Advances in satellite remote sensing of environmental variables for epidemiological applications pages 293-311 in Remote sensing and GIS in public health, S.I. Hay (ed.), Academic Press, London.
9. Goffredo M., Benedetto L., Di Marcello V., Monaco F. (2008) Identification of *C. obsoletus*, *C. scoticus*, *C. montanus* and *C. dewulfi*: an integrated morphological and genetic approach. Proceedings of the Bluetongue Satellite Symposium "Bluetongue in Europe: back to the future!!", Brescia – Italy – 7 June 2008
10. Gomulski, L.M., Meiswinkel, R., Delécolle, J.C., Goffredo, M. and Gasperi, G. (2005) Phylogenetic relationships of the subgenus *Avaritia* Fox, 1955 including *Culicoides obsoletus* (Diptera, Ceratopogonidae) in Italy based on internal transcribed spacer 2 ribosomal DNA sequences. Syst. Entomol. 30, 619-631.
11. Kitron, U. (1998) Landscape ecology and epidemiology of vector-borne diseases: tools for spatial analysis. J. Med. Entomol. 35:435-445
12. Lambin E. F., Tran A., Vanwambeke S.O., Linard C., Soti V. (2010) Pathogenic landscapes: Interactions between land, people, disease vectors, and their animal hosts International Journal of Health Geographics 2010, 9:54 <http://www.ij-healthgeographics.com/content/9/1/54>
13. Meiswinkel, R., Gomulski, L., Delécolle, J.-C., Goffredo, M. and Gasperi, G. (2004) The biosystematics of *Culicoides* vector complexes – unfinished business. In: Proceeding of the Third International Symposium on Bluetongue, Taormina, Italy, 26-29 October 2003. Veterinaria Italiana. 40 (3), 151-159.
14. Monaco F., Benedetto L., Di Marcello V., Lelli R., Goffredo M. (2010) Development and preliminary evaluation of a real-time PCR for the identification of *Culicoides obsoletus*, *Culicoides scoticus* and *Culicoides montanus* amongst the Obsoletus Complex. Veterinaria Italiana, 46 (2) 209-214
15. Purse, B.V., Mellor, P.S., Rogers, D.J., Samuel, A.R., Mertens, P.P.C. & Baylis, M. (2005) Climate change and the recent emergence of bluetongue in Europe. Nature Reviews. Microbiology, 3, 171–181
16. R Development Core Team (2010). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL: <http://www.R-project.org/>
17. Ricci V. (2006) "Principali tecniche di regressione con R", cran.r-project.org
18. Rogers, D. J., S. E. Randolph, Snow R. W. & Hay S. I. (2002) Satellite imagery in the study and forecast of malaria, Nature 415(6872): 710-715.
19. Savini, G., Goffredo, M., Monaco, F., de Santis, P., Meiswinkel, R. (2003) Transmission of bluetongue virus in Italy. Vet. Rec. 152, 119.
20. Savini, G., Goffredo, M., Monaco, F., Di Gennaro, A., Cafiero, M. A., Baldi, L., De Santis, P., Meiswinkel, R. & Caporale, V. (2005) Bluetongue virus isolations from midges belonging to the Obsoletus complex (*Culicoides*, Diptera: Ceratopogonidae) in Italy. Veterinary Record 157, 133-143.
21. Siegel S., Castellan N. J. (1988) Nonparametric Statistics for the behavioural sciences, MacGraw-Hill Book Company, New York
22. Vanhuysse S., Ippoliti C. Conte A., Goffredo M., De Clercq E., De Pus C., Gilbert M., Wolff E. (2010) Object-based classification of SPOT and ASTER data complemented with data derived from MODIS Vegetation Indices time series in a Mediterranean test-site. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII-4/C7

Un approccio metodologico innovativo per la localizzazione e la fruizione di un Albergo Diffuso. Caso di studio: Valle dello Jato

Dott. Urb. Giuseppe Italiano

Via Palermo 65, San Giuseppe Jato, Tel/Fax 0918573828, e-mail: italiano.giuseppe@yahoo.it, www.espertisit.it

Introduzione

L'importanza assunta dalle aree urbane, in ambito economico, sociale e politico, costituisce nei recenti anni un rilevante fenomeno che richiede studi approfonditi.

Al fine di fare maggiore chiarezza sulla portata e sulla rilevanza di tale materia dai contorni ancora incerti e non completamente definiti, si vuole qui proporre uno studio che possa mettere in luce le caratteristiche e gli aspetti più importanti del marketing territoriale e riesca a dimostrare contestualmente la validità operativa di quest'ultimo nel favorire lo sviluppo territoriale.

L'obiettivo del lavoro è stato quello di sviluppare una metodologia innovativa di analisi dell'informazione territoriale valorizzando le risorse ambientali per la definizione di un sito a scopo alberghiero. In particolare il lavoro vuole concentrarsi sulla riqualificazione del territorio attuando delle strategie di marketing territoriale dal punto di vista turistico e proponendo una nuova forma di ospitalità che sempre più si sta diffondendo nel nostro Paese: l'Albergo Diffuso.

Con detta definizione si concentra l'attenzione su quella forma "nuova" di ospitalità che cerca di promuovere lo sviluppo turistico nei centri urbani minori non trascurando una reale e consapevole attenzione alla sostenibilità ambientale, contribuendo a far crescere l'offerta ed a renderla più attiva.

La scelta del paese di San Giuseppe Jato scaturisce dal fatto che il suddetto si presta come luogo ottimale da inquadrare in quest'ottica in virtù del suo alto potenziale mai sfruttato.

L'intento vuole essere quello di trovare una soluzione valida per una riqualificazione territoriale e ambientale attraverso metodologie urbanistiche, come la valorizzazione delle architetture, la creazione di un sistema di mobilità alternativa a quella veicolare, il tentativo di recuperare un rapporto tra popolazione dei quartieri e luogo dell'abitare, il tutto associato ad aspetti economici, sociali e naturalmente naturalistici.

Il lavoro è stato suddiviso in tre parti:

- La ricerca della posizione ottimale per un Albergo Diffuso;
- La creazione di una rete (sistema) che metta in relazione l'Albergo Diffuso con il contesto territoriale;
- La creazione di un SIT dell'area archeologica che domina l'intera valle dello Jato al fine della valorizzazione di questa che, indubbiamente, è uno dei più importanti punti di forza per lo sviluppo locale.

Dal Marketing Territoriale ad un Albergo Orizzontale

Le funzioni dell'Albergo Diffuso sono simili a quelle di un esercizio ricettivo tradizionale, e possono essere espletate predisponendo spazi fisicamente separati e programmati in edifici diversi all'interno dello stesso nucleo urbano, adatti a fungere da:

- unità abitative/camere in cui si svolge la funzione di alloggio;
- area d'ingresso e di accoglienza, dove si svolgono le operazioni di *check in/out* dei clienti, e aree tecniche (aree per impianti e aree di servizio utilizzabili dagli addetti);
- aree comuni di soggiorno;
- area ristoro.

La progettazione di un Albergo Diffuso richiede varie fasi di analisi della realtà locale, preliminari alla definizione dei momenti più specificatamente attinenti alla progettazione.

La localizzazione degli spazi comuni deve essere il più possibile baricentrica rispetto alle unità abitative e correttamente individuata basandosi sui tempi di percorrenza delle distanze: tenendo conto che, per vivere l'esperienza della formula dell'albergo diffuso e per una adeguata fruibilità del servizio, il cliente deve poter percorrere tranquillamente a piedi la distanza che separa la propria camera dal ristorante (bar, sala lettura) in non più di 3 o 4 minuti, si può calcolare una distanza massima pari a circa 200 metri tra gli edifici che accolgono le camere e quelli dove vengono erogati i servizi. È importante che la progettazione dell'Albergo Diffuso tenga conto dei principi base di una corretta analisi progettuale ricettiva, in base alla quale la definizione degli aspetti strutturali deve essere strettamente correlata agli aspetti gestionali della struttura.

L'idea è quella di trasformare le strade del paese nei corridoi dell'albergo, e le case vuote in camere, il tutto con una organizzazione e gestione unitaria di tali servizi. Questa è la concezione del così detto "Albergo Diffuso".

Fasi di lavoro

La prima fase del lavoro è stata quella del reperimento dati che si è suddivisa in 3 parti:

- dati cartografici e digitalizzazioni di cartografie tematiche;
- sopralluoghi;
- divulgazione di questionari sottoposti agli abitanti del comune oggetto di studio.

La seconda fase è stata quella dell'elaborazione dei dati reperiti e in particolare:

- dai sopralluoghi è stato dato un indice di interesse storico architettonico a tutte le unità immobiliari e, quindi, si è potuto fare un'analisi spaziale tramite l'interpolazione dei dati.
- La stessa interpolazione è stata effettuata sui dati dei questionari, che precedentemente sono stati geolocalizzati.

La terza fase si è focalizzata nell'individuazione delle abitazioni vuote che si trovano in prossimità delle zone con un alto indice di interesse storico architettonico (IISA), avendo la possibilità di intervenire su determinati temi in funzione delle carte tematiche relative ai questionari (trasformati in singoli valori ed interpolati tra di loro per la creazione delle carte relative alle singole domande).

La quarta ed ultima fase è servita a collegare tutti i sentieri della Valle dello Jato, individuati nelle varie cartografie ed ortofoto, con la struttura dell'Albergo Diffuso e gli elementi d'interesse turistico di tutta la Valle come Mulini, Masserie, case storiche e il parco archeologico del Monte Jato.

Progettazione e distribuzione dei questionari

Coscienti della difficoltà di reperimento dei dati da analizzare e dall'esigenza di rendere partecipe il cittadino al fine di poter avere a disposizione dati sulla percezione del luogo in cui esso vive, si è ritenuto fondamentale la progettazione *ad hoc* di un questionario.

La fase di costruzione di un questionario rappresenta un momento particolarmente delicato nel corso della pianificazione di un'indagine di valutazione contingente¹.

Il questionario è stato elaborato per rispondere alle tematiche relative alla cultura, all'economia, alle abitudini e conseguenzialmente ai relativi bisogni, esigenze e problemi. Quindi sono state poste 47 domande, alcune per individuare le zone più idonee alla realizzazione di un Albergo Diffuso, altre solo con scopo statistico. Le domande sono state raggruppate in otto tematismi:

- Infrastrutture;
- Relazioni pubbliche;
- Inquinamento;
- Sicurezza;
- Organizzazione;
- Servizi.

¹ La valutazione contingente (contingent valuation method) è il più diffuso metodo diretto di stima del valore dei beni che, per le loro caratteristiche intrinseche, non hanno un mercato.

Il questionario è stato distribuito in modo uniforme su tutto il territorio urbano di San Giuseppe Jato, i questionari consegnati sono stati 400, 319 l'utenza che ha risposto in modo completo alle domande.

Per la distribuzione dei questionari si è proceduto secondo i seguenti modi:

- attraverso la collaborazione della Direzione didattica "G.Falcone" e della scuola primaria e secondaria di primo grado dell'I.C.S. "S. Riccobono";
- attraverso un'associazione culturale del territorio "Associazione Donna";
- attraverso la metodologia *face to face*, che ha permesso di colmare i vuoti della distribuzione fatta precedentemente.

Interessante è stato il coinvolgimento che i cittadini hanno mostrato nella compilazione del questionario perché si è avuta contezza della sensibilità rispetto ai temi affrontati e si è avuto modo di dare loro l'opportunità di evidenziare i problemi che vivono nel correlativo quartiere.

Sulla base dei questionari e dei sopralluoghi fatti si è passati alla costruzione della "Rete Network", fondamentale per la "geolocalizzazione" dei questionari (figura 1-2), avendo la possibilità di evidenziare con precisione le problematiche emerse attraverso delle analisi spaziali. Successivamente dalle singole schede cartacee si è passati alla digitalizzazione creando così il database che servirà per le successive elaborazioni.

Il passaggio fondamentale, prima di passare alle analisi spaziali, è quello della normalizzazione, cioè un processo di ottimizzazione dei dati per la creazione di un database efficiente.

Nella fattispecie, ogni domanda corrispondeva ad un valore ben specificato.

I valori che sono stati utilizzati sono tre e per comodità logistica, sono ripartiti come segue:

1, risposte che sono state interpretate come negative (colore rosso);

3, risposte intermedie (colore giallo);

5, risposte che sono state interpretate come positive (colore verde).

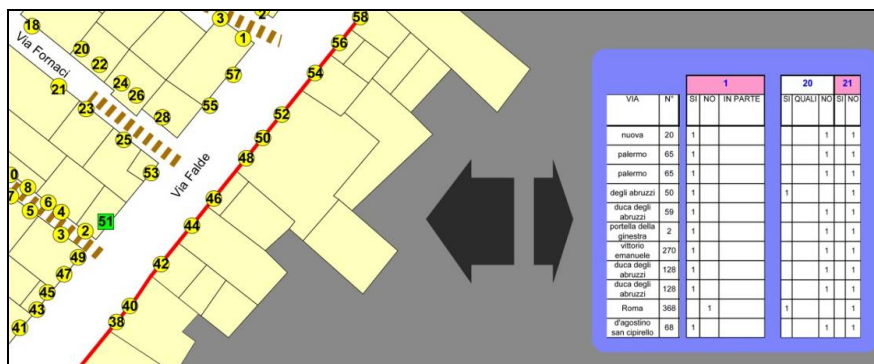


Figura 1 – Join tra i questionari e la Rete Network creata.



Figura 2 – Porzione di abitato con la localizzazione dei questionari.

Seguendo questo criterio, sono state normalizzate tutte le 47 domande e queste in definitiva hanno portato alla creazione di mappe. Alcune di queste sono il risultato di una interazione di domande. (figura 3).

In questo modo si individuano con precisione le zone dell'abitato che corrispondono alla percezione dell'abitante sulla problematica e/o caratteristica che si vuole approfondire.

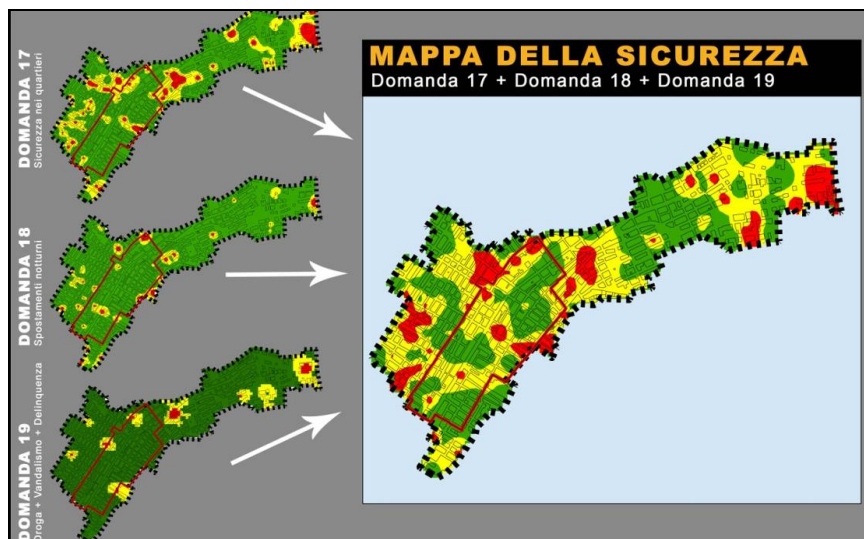


Figura 3 – Esempio di mappa tematica relativa ad alcune domande dei questionari.

Il censimento delle abitazioni

Per poter effettuare la “geolocalizzazione” dei singoli questionari si è dovuto effettuare un censimento degli edifici dell'intero centro urbano di San Giuseppe Jato, attraverso sopralluoghi mirati, finalizzati nell'individuare principalmente le abitazioni vuote (confrontandoli anche con i dati dei residenti forniti dall'ufficio anagrafe del Comune di San Giuseppe Jato).

Si è arrivati così ad una classificazione dello stato di degrado (figura 4):

- buone condizioni;
- medie condizioni;
- pessime condizioni.

Intendendo:

per “buone condizioni” quelle abitazioni che risultano vuote ma non necessitano di una ristrutturazione per poterle abitare;

per “medie condizioni” quelle abitazioni che risultano vuote e per essere riutilizzabili necessitano di una ristrutturazione parziale;

per “pessime condizioni” quelle abitazioni che risultano inabitate e necessitano di una ristrutturazione totale perché spesso sono anche prive di tetto.

Una seconda classificazione è stata eseguita per individuare l'IISA (indice di interesse storico architettonico) che si è basato su un'interpretazione soggettiva della potenzialità turistica di ogni singolo edificio (figura 5).

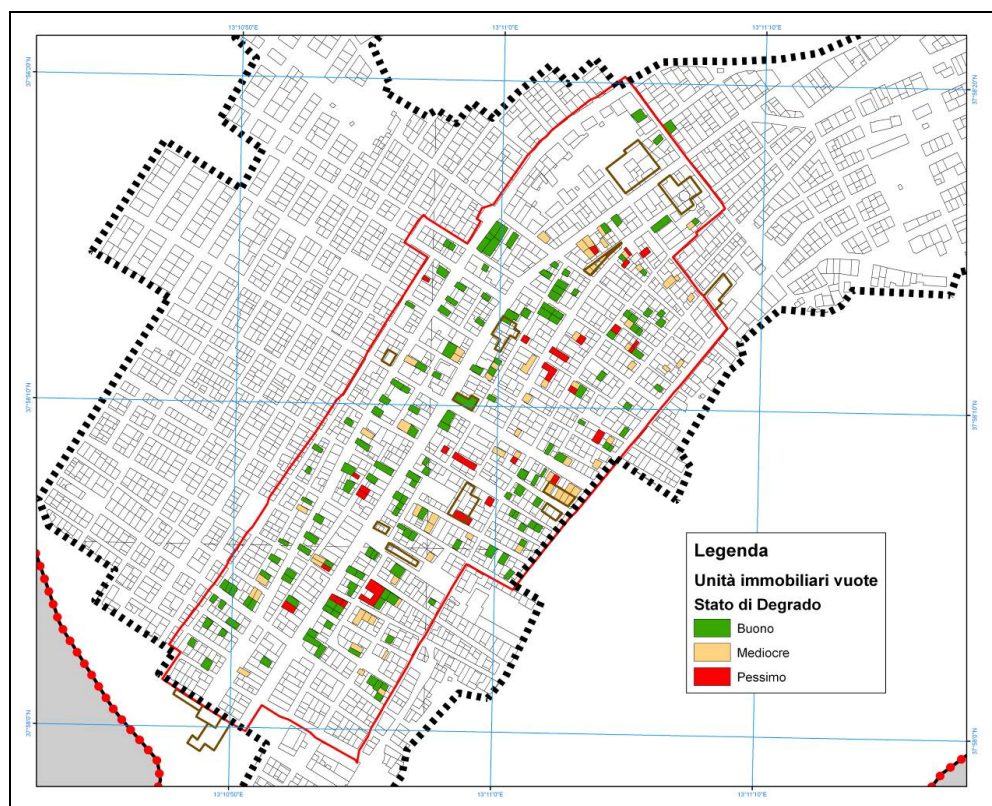


Figura 4 – Stato di degrado delle abitazioni vuote.

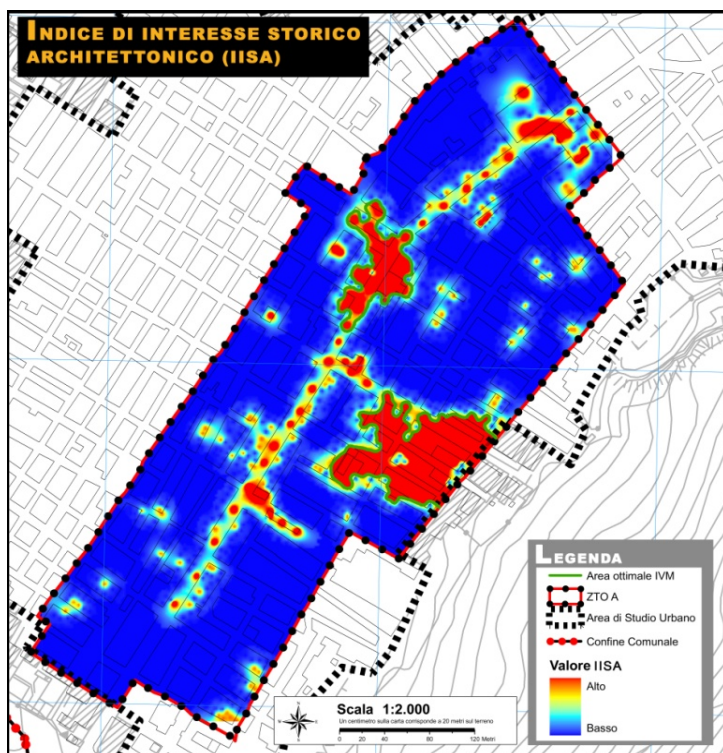


Figura 5 – Distribuzione dell'IISA all'interno del centro storico del comune di San Giuseppe Jato.

Localizzazione e fruizione della struttura

Lo studio approfondito per la localizzazione ottimale dell'Albergo Diffuso, ha portato all'integrazione di tutti i dati elaborati precedentemente così da individuare sia le abitazioni vuote che si trovano in prossimità delle zone con un alto indice di Interesse Storico Architettonico (figura 6) sia contestualmente a stabilire preventivamente gli interventi da attuare sia rispetto alle carte tematiche relative ai questionari che allo stato di degrado delle singole abitazioni.

Il risultato è stato l'individuazione di due strutture che hanno i requisiti minimi per essere classificate come Albergo Diffuso (figura 7).

La costruzione di un Albergo Diffuso non è fine a se stessa ma deve integrarsi con il territorio circostante che nella fattispecie è la Valle dello Jato, un territorio ricco di storia, cultura e tradizione. Sono stati individuati tutti i possibili tracciati e attraverso la costruzione di una seconda Rete Network sono stati individuati 9 possibili percorsi tematici che collegano i diversi beni storici presenti in tutto il territorio circostante (figura 8).

I percorsi individuati hanno caratteristiche differenti e facilmente adattabili alle diverse esigenze del turista in funzione del mezzo da utilizzare (percorsi ciclabili, ippovie, sentieri da trekking, etc.).

Il sistema creato permette al turista di essere autosufficiente nell'organizzazione del proprio tour grazie alla Rete Network facilmente gestibile con un semplice Smartphone.

Alcuni dei percorsi individuati sono collegati con il parco archeologico del Monte Jato, che come indicato in premessa, è stato oggetto di interessante studio che ne ha costituito il nucleo intorno al quale si è sviluppato l'intero ambizioso progetto (figura 9).

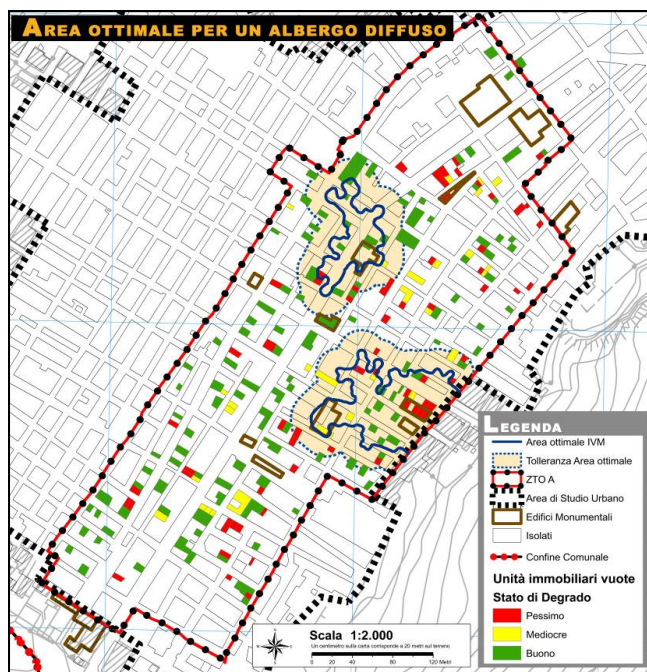


Figura 6 – Individuazione delle zone con un alto IISA e sovrapposizione con le abitazioni vuote.

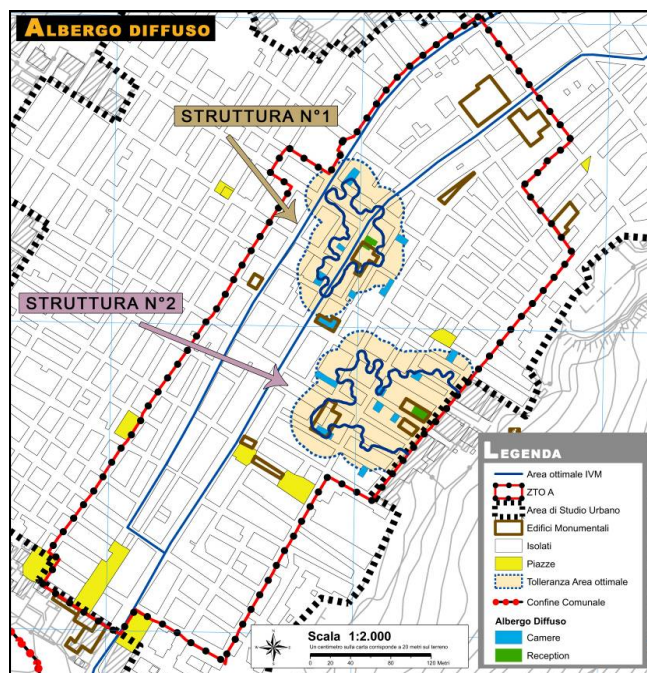


Figura 7 – Individuazione delle abitazioni vuote ricadenti all'interno delle aree ottimali per L'albergo Diffuso.

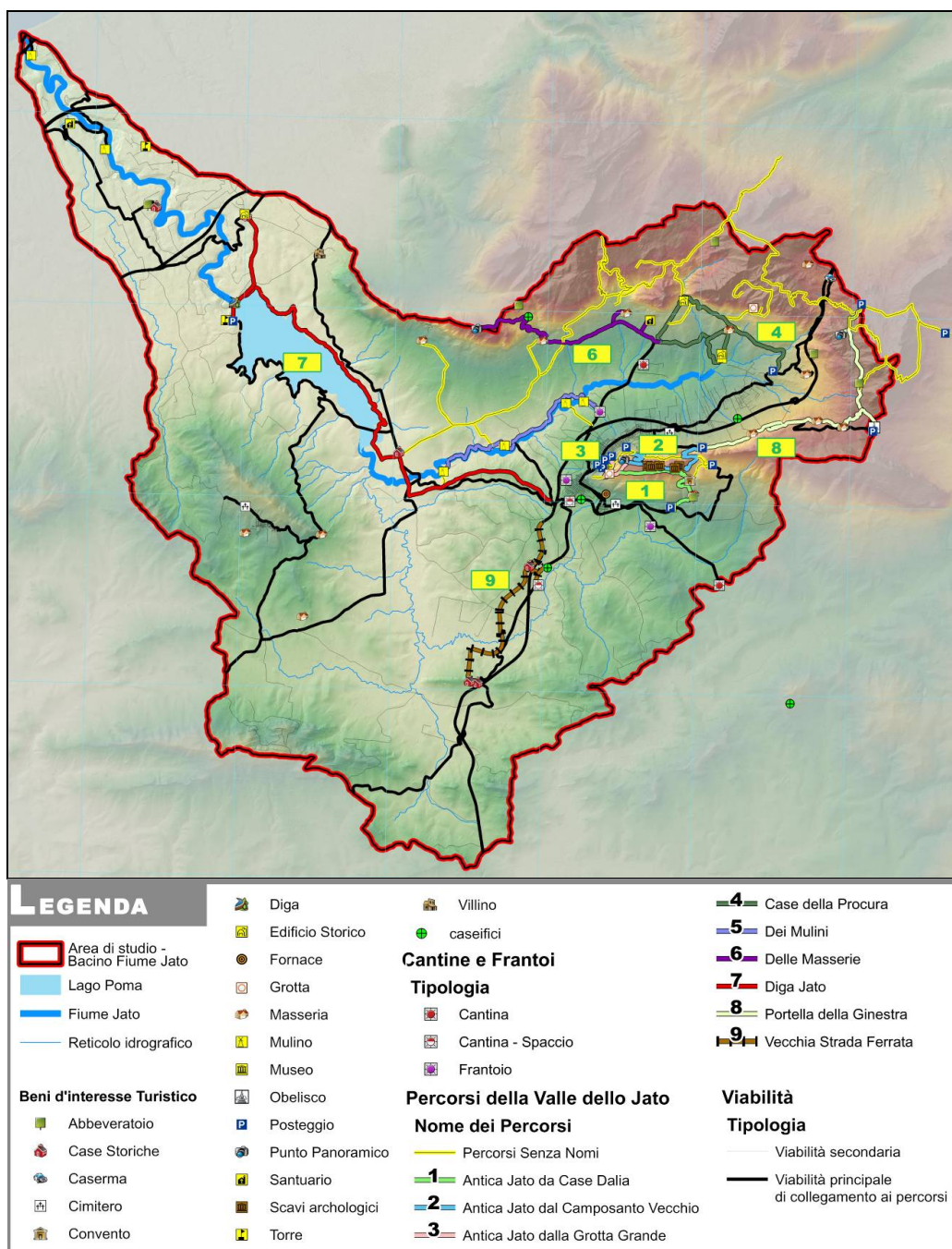


Figura 8 – Percorsi, corrispondenti ad un numero identificativo, che sono stati individuati in tutto il bacino del fiume Jato e che collegano i principali beni di interesse turistico.

La parte conclusiva infatti ha centrato la sua attenzione sul Sistema Informativo Territoriale denominato *JatoSIT* (figura 10), questo è sicuramente uno dei punti di forza dell'intero progetto.

JatoSIT è un progetto del tutto originale vista la mancanza di dettagli nella CTR (essendo un sito archeologico sono stati identificati solamente i contorni esterni) che ha messo in evidenza la forte difficoltà di reperimento dei dati relativi agli scavi archeologici, ancora oggi aperti.

Dopo accurati rilievi con tecnologia *GPS* e la successiva georeferenziazione delle cartografie storiche relative ai vari scavi, si è potuto integrare il tutto in una mappa interattiva inserita nel sistema nella *Rete Network* precedentemente costruita.



Figura 9 – Parco archeologico del Monte Jato inserito nel sistema dei percorsi.

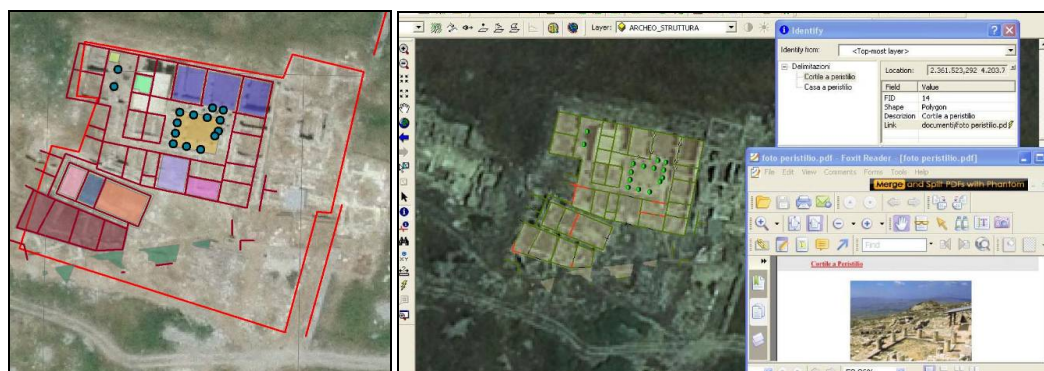


Figura 10 – Esempio d'implementazione dei dati alfanumerici all'interno di *JatoSIT*.

Uno degli aspetti fondamentali di questo lavoro è la volontà di sottolineare l'importanza di un sistema, di una rete che guardi non soltanto all'intersecazione semplice, o agli elementi puramente architettonici, seppur fondamentali, ma ai suoi aspetti più complessi, più dinamici, alle relazioni che intercorrono non soltanto con la struttura alberghiera, ma anche con gli aspetti naturalistici, e con i beni storici e culturali presenti nella valle. Soltanto attraverso questa impostazione possiamo entrare

nell'ottica complessa e dinamica dell'Albergo Diffuso. Un progetto ambizioso che richiede determinazione e strumenti innovativi, che possono nettamente migliorare il circuito turistico della valle dello Jato.

Bibliografia

- Baldi S. (a cura di) (1998), "L'indice di sviluppo umano delle nazioni unite. Vantaggi e limiti della misurazione sintetica dello sviluppo", *Articolo pubblicato su affari sociali internazionali n. 3, 1998*, Franco Angeli editore.
- Baiocchi V., Lelo K. (2001), "Georeferenziazione di cartografie storiche in ambiente gis e loro verifica mediante rilievi gps", *Articolo pubblicato in atti della 5ª conferenza nazionale ASITA - 9 - 12 Ottobre 2001 - palacongressi di Rimini*.
- Barrile V., Mussio L. (2003), "Georeferenziazione ed analisi dei dati", *Dagli atti della prima conferenza regionale di cartografia. La cartografia per il controllo e la gestione del territorio - 12-13 Giugno 2003, centro servizi avanzati Lamezia Terme - Cosenza*.
- Bartier P.M., Keller C.P. (1996), "multivariate interpolation to incorporate thematic surface data using inverse distance weighting (idw)", *Computers & Geosciences volume: 22, issue: 7, august*, pp. 795-799.
- Benevolo L. (1983), *Le origini dell'urbanistica moderna*, Laterza, Bari.
- Campos G., Venuti, Oliva F. (1993), *Cinquant'anni di urbanistica in Italia.1942-1992*, Laterza, Bari.
- Clementi A. (2004), "La qualità nei progetti di trasformazione urbana. Esperienze europee a confronto", *Atti del convegno mit - siu - urban regeneration*, Genova.
- Colombo G. (2002), "Qualità urbana, principio fondamentale per vivere meglio", *Il Giornale dell'Ingegnere n. 14/2002*.
- Dall'Ara G. (2010), *Manuale dell'albergo diffuso. L'idea, la gestione, il marketing dell'ospitalità diffusa*, Franco Angeli editore.
- Dall'Ara G. (1984), *Progetto turistico per la Val D'Enza: metodologia, in ricerca per la verifica di un modello integrato di interventi operativi nell'area dell'alto bacino del fiume Enza*, Regione Emilia Romagna, Bologna.
- Dessi V. (2007), *Progettare il comfort urbano. Soluzioni per un'integrazione tra società e territorio*, Esselibri, Napoli.
- Dipartimento di rappresentanza DIIAA - Facoltà di Ingegneria, Università di Palermo "appunti di g.i.s, a.a. 2002-03". Palermo.
- Gambino R. (1996), *Progetti per l'ambiente*, Angeli, Milano.
- Giovannini P. (2001), "Il progetto urbano per lo sviluppo sostenibile", *atti convegno internazionale "dalla città diffusa alla città diramata"*, Torino.
- Gomarasca M. A. (2004), *Elementi di geomatica*. A.I.T. Associazione Italiana di Telerilevamento, Federara, Milano.
- Grimaldi, R.. (1888), *La cartografia e i sistemi informativi per il governo del territorio*, Franco Angeli editore.
- Güting, H. (1994), *An introduction to spatial database systems*, Vldb journal 3, hans-j. Schenk, 357-399
- Guttman, A (1984), *A dynamic index structure for spatial searching*, Proc.of the sigmod conference, Boston, 47-57
- Italiano Giuseppe, et al., (2010), "Jatosit, un sistema informativo territoriale per la tutela del patrimonio archeologico", *atti del convegno del "gistales: di dati, persone e strumenti"*, evento Gisday 2010, Università degli studi di Palermo, sala magna di palazzo Steri, Palermo 17 Novembre 2010.

Italiano Giuseppe, et al. (2010), "La valle del Platani un sistema informativo territoriale per l'individuazione dei territori a bassa competitività turistica, *atti del convegno del "gistaes: di dati, persone e strumenti"*, evento Gisday 2010, Università degli studi di Palermo, sala magna di palazzo Steri, Palermo 17 Novembre 2010.

La Bella G. Et al. (2007), n.t.r. – i.r.m.a. – special publication n°11 - 2007 – rapporto finale progetto "drepancoast: *"elaborazione di un modello di gestione integrata della zona costiera della provincia di trapani"*" (cod. 1999.it.16.1.po.011/ 4.17b/8.3.7/0061). I.a.m.c.-c.n.r. – u.o.d. di mazara del vallo (tp). Issn 1120 1894.

Laurini, R. (2001), *information system for urban planning*, a hypermedia cooperative approach, London, New York

Muller D.G. (2001), *Architettura sostenibile*, Edizioni Ambiente.

Pinzello I., Quartarone C. (2005), *La città e i bambini*, Palumbo.

Ragora A., Dessì V. (2005), *Il comfort ambientale negli spazi aperti*. Edicom edizioni, Monfalcone (Go).

Salvo G., La Bella G. (2007), "Un approccio per una valutazione di impatto ambientale dell'esercizio di un nodo aeroportuale", *atti del convegno della 11a conferenza nazionale ASITA*, Torino, centro congressi lingotto 6-9 Novembre 2007.

Salzano E. (1998), *Fondamenti di urbanistica*, Laterza, Bari.

Sernicola M. (2002), "L'alta risoluzione a supporto dei sistemi informativi", *atti della 6a conferenza nazionale ASITA "geomatica per l'ambiente, il territorio e il patrimonio culturale"*. 5-8 Novembre 2002. Perugia.

Monitoraggio del ciclo fenologico della vegetazione attraverso l'impiego di immagini webcam

Tommaso Julitta (*), Roberto Colombo (*), Edoardo Cremonese (**),
Mirco Migliavacca (***), Micol Rossini (*), Sergio Cogliati (*), Lorenzo Busetto (*),
Marta Galvagno (**), Umberto Morra di Cella (**)

(*) Remote Sensing of Environmental Dynamics Laboratory, Dip. Scienze dell'Ambiente e del Territorio

Università Milano-Bicocca, Piazza della Scienza 1, 20126 Milano, Italy, t.julitta@campus.unimib.it

(**) Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Valle d'Aosta, Sez. Agenti Fisici, Aosta, Italy

(***) European Commission, DG-JRC, Institute for Environment and Sustainability

Climate Change Unit, Via E. Fermi 1, Ispra 21020 (VA), Italy

Riassunto

In questo contributo viene presentato uno studio volto alla caratterizzazione e al monitoraggio delle fasi fenologiche di un ecosistema terrestre (foresta di *Larix decidua*) attraverso l'impiego di indici spettrali derivati da immagini webcam. La stazione webcam è posizionata su una torre di altezza pari a 20 m, tale da permettere il monitoraggio della canopy mediante osservazioni frontali. La webcam, installata nell'aprile 2009, ha permesso l'acquisizione di immagini in continuo a livello giornaliero e stagionale. Nel corso della stagione primaverile, estiva e autunnale, sono state effettuate osservazioni di campo settimanali necessarie determinare i diversi stadi fenologici. A partire dalle immagini webcam sono stati calcolati alcuni indici di vegetazione e a partire dall'analisi del trend di questi è stato possibile valutare le date di inizio, fine e durata della stagione vegetativa. Il calcolo degli indici di vegetazione è stato effettuato sia a livello di regioni di interesse omogenee, sia a livello di singoli pixel, permettendo di indagare la variabilità spaziale e temporale e di evidenziare all'interno dell'immagine differenti aree a diverso comportamento fenologico. I risultati ottenuti si sono mostrati in accordo con le misure di campo e con i risultati ottenuti mediante l'applicazione di un modello fenologico guidato da variabili climatiche (*Growing Season Index*), dimostrando come l'impiego di camere commerciali, a costi ridotti, possa essere un utile strumento per il monitoraggio del ciclo fenologico della vegetazione.

Abstract

This paper shows a study focused on the characterization and monitoring of phenological phases of a terrestrial ecosystem (*Larix decidua* forest) using spectral indices derived from webcam images. The webcam station has been positioned above a tower 20 m high, which allows the canopy monitoring through front observation. The webcam was installed in April 2009 and from that date allows to collect pictures in hourly interval. During spring, summer and autumn, were also conducted weekly surveys related to the different phenological stages through field observation. From the webcam pictures were derived normalized vegetation indices that allowed to determine the dates of beginning and end of the growing season, and the length of it. Vegetation indices have been carried out both in the homogeneous regions of interest, both at the individual pixels, allowing to investigate the spatial and temporal variability and highlight areas within the image at different phenological behavior. Results are in agreement with field measurements and with results achieved through the application of phenological model (*Growing Season Index*), showing that the use of cheaper commercial camera could be a useful instrument for monitoring the vegetation phenological cycle.

Introduzione

Per fenologia si intende la scienza che si occupa di comprendere la variabilità dei cicli riproduttivi e vegetativi delle piante, con particolare attenzione rivolta alla relazione esistente tra tali eventi e i differenti fattori abiotici e biotici che li influenzano (Lieth, 1974). A causa di questa forte dipendenza da fattori di natura abiotica (e.g. clima) è stato dimostrato come l'osservazione e la classificazione delle fasi fenologiche della vegetazione possa essere un importante indicatore di cambiamenti climatici a scala globale (Schwartz & Reiter, 2000; Badeck et al., 2004). Poiché la classificazione delle fasi fenologiche può essere utilizzata come indicatore di cambiamenti climatici, le analisi effettuate su ecosistemi particolarmente sensibili a cambi di clima (e.g. le Alpi europee) sono estremamente interessanti. In questa direzione si è recentemente mossa la comunità scientifica, focalizzandosi particolarmente sul monitoraggio di ecosistemi forestali (Ahrends et al., 2008; Busetto et al., 2010; Fonti et al., 2010; Migliavacca et al., 2008; Moser et al., 2010).

Nel mondo vegetale i principali avvenimenti che descrivono la fenologia sono il germogliamento, la senescenza e la caduta delle foglie; a partire da questi eventi è possibile dedurre la durata della stagione vegetativa (Migliavacca et al., 2008). Questi eventi chiave hanno una durata limitata nel tempo e per determinarne con esattezza le date corrispondenti sono necessarie frequenti osservazioni di campo durante la stagione di crescita, il che corrisponde a uno sforzo elevato sia in termini di personale sia in termini di costi (Sparks et al., 2006). Le osservazioni di campo possono essere integrate con osservazioni satellitari con lo scopo di spazializzare conoscenze locali su larga scala (Schwartz, 1999), e con l'impiego di sistemi di *proximal sensing*, quali le stazioni webcam. Un ulteriore sostegno all'*upscaling* dell'osservazione di campo è fornito dall'applicazione di modelli matematici il cui fine è quello di colmare il *gap* esistente tra le vaste aree oggetto dell'analisi di immagini satellitari e le variabili guida che sono desunte dalle osservazioni al suolo (Jolly et al., 2005). Sia le tecniche di *remote sensing* sia i modelli fenologici, guidati da variabili climatiche, rappresentano un importante strumento per comprendere e predirne le risposte della vegetazione alla variabilità interannuale e offrono un'opportunità per analizzare e definire quali siano i ruoli dei differenti fattori ambientali nel determinare la fenologia delle piante (Jolly et al., 2005).

Nel presente articolo particolare interesse è rivolto all'utilizzo di sistemi di monitoraggio di prossimità, quali le webcam, che permettono, a costi ridotti, un'acquisizione continua nel tempo della dinamica della vegetazione. Negli ultimi anni, con la rapida diffusione di questa tipologia di strumenti, sono numerosi gli studi che hanno mostrato come l'analisi di immagini acquisite in continuo sia un utile mezzo per il monitoraggio *in situ* di cicli fenologici in diversi ecosistemi forestali (Ahrends et al., 2008; Ahrends et al., 2009; Bradley et al., 2010; Graham et al., 2010; Richardson et al., 2009; Richardson et al., 2007) e in praterie aride (Jacobs et al., 2009; Migliavacca et al., 2011).

L'obiettivo del presente studio è quello di valutare l'impiego di webcam per il monitoraggio del ciclo fenologico di un ecosistema forestale (*Larix decidua*), confrontando gli indici ottici derivati dalle elaborazioni delle immagini webcam sia con osservazioni di campo sia con il ciclo stagionale simulato da un modello fenologico guidato da variabili climatiche.

Area di studio e dati impiegati

Il sito oggetto dello studio è una foresta di Larice (*Larix decidua*) situata a 2100 m. s.l.m. nelle Alpi Nord-occidentali presso il comune di Torgnon (AO). L'area è classificata come intra-alpina con un clima semi-continentale, temperatura media annua di 3.1 °C e precipitazione media annua di 920 mm. Il sito sperimentale è dotato di stazioni di misura di variabili micrometeorologiche e flussi di anidride carbonica e di vapor acqueo basati sulla tecnica *eddy covariance*. Gli strumenti di misura sono dislocati a varie altezze, da altezza suolo sino a un massimo di 21 m da terra. Gli strumenti per la misura delle variabili meteorologiche tradizionali sono: un sensore Vaisala di temperatura e umidità relativa (Modello HMP45C, *Campbell Scientific*), un pluviometro a vaschette oscillanti (Modello FSS 500, *Campbell Scientific*), un radiometro netto (K&Z).

Al sito è stata installata nell'aprile 2010 una webcam (modello CC640 Cambell Scientific, Logan, Utah, USA). Questa è situata a un'altezza di 22 m dal suolo, è puntata a nord a circa 20° sotto l'orizzonte seguendo le indicazioni di Richardson et al.(2007) ed è dotata di una lente focale di 3.5 mm con campo di vista pari a 79.8 gradi. La camera è connessa a un *data-logger* Campbell modello CR1000 e permette l'acquisizione di immagini della stessa scena in continuo (a passo orario dalle 10 alle 17) formato JPEG, risoluzione 640 x 480, 0.3 megapixels, dotata di tre canali RGB, 8-bit ciascuno. Il modello utilizzato prevede una regolazione automatica del tempo di esposizione e del bilanciamento del bianco, variabile a seconda dei diversi livelli di illuminazione della scena.

Il presente studio è basato sull'impiego di 2132 immagini raccolte dalla webcam nell'anno 2010, a partire dall'istallazione (09-04-2010, day of the year, DOY 99) fino a fine anno (31-12-2010, DOY 365). In figura 1 viene riportato il sito di misura e l'area ripresa dalla webcam.



Figura 1 – a) Webcam modello CC640 installata presso il sito sperimentale di Torgnon (AO).
b) Area ripresa dalla webcam. In nero la regione di interesse impiegata nell'analisi.

Metodi

Pre-elaborazione delle immagini

Le immagini acquisite con Webcam possono risultare affette da rumore provocato da molteplici cause (e.g. insufficiente risoluzione radiometrica, aberrazioni ottiche, disturbi termici, umidità e condensa), inoltre possono essere soggette a pre-elaborazioni standard (e.g. bilanciamento automatico del bianco) che possono rendere complicati i confronti delle immagini nel tempo; infine possono includere effetti esterni indesiderati quali la geometria di presa e le condizioni atmosferiche al momento delle riprese (e.g. Migliavacca et al., 2011, Sonnentag et al., 2011). Questi elementi introducono una serie di incertezze e limitazioni nell'impiego delle webcam per il monitoraggio del ciclo fenologico e pertanto devono essere opportunamente considerati per selezionare i dati di buona qualità.

In questo studio sono state affrontate con particolare attenzione alcune tecniche per la rimozione di pixel saturi, per la riduzione del rumore presente nelle immagini e per il filtraggio temporale necessario alla ricostruzione delle serie.

La rimozione dei pixel saturi è stata effettuata mediante l'applicazione di filtri adattivi (*adaptive filter* in IDL vs 7.0). Tali filtri prevedono la sostituzione del valore di DN specificato (255) con una media di un intorno, le cui dimensioni sono definite dall'utente, in questo caso si è scelto di impiegare una finestra di convoluzione di dimensioni pari a 5x5 pixel.

La riduzione del rumore dell'immagine è stata effettuata impiegando filtri adattivi (Lee, 1980) (tipicamente impiegati sulle immagini radar). Tale filtro prevede l'applicazione sull'immagine di una finestra di convoluzione di dimensione specifica (nello studio sono stati effettuate due prove: prima finestra testata: dimensione pari a 3x3 pixel; seconda finestra testata: dimensione pari a 6x6

pixel). All'interno della finestra selezionata i pixel con una deviazione standard superiore a un soglia predefinita ($\sigma = 0.25$) sono sostituiti con un valore pari alla media dell'intorno.

Oltre alle elaborazioni delle immagini relative alle caratteristiche strumentali della camera, per effettuare un confronto di indici ottici di vegetazione relativi alla *canopy* osservata, è necessario considerare la variabilità della geometria di presa (movimento delle ombre interne all'immagine) e le condizioni atmosferiche variabili.

Il primo passaggio ha quindi implicato la riduzione dell'influenza delle ombre interne all'immagine. È stata osservata una distribuzione bimodale dei valori del pixel contenuti nel canale del rosso che è riconducibile alla distinzione di zone in ombra (prima moda) e in luce (seconda moda). Selezionando i pixel che fanno parte della prima moda è possibile mettere in evidenza le zone d'ombra dell'immagine che non verranno in seguito considerate nell'estrazione di indici che potrebbero risulterne influenzati. La distinzione delle due mode è stata effettuata a partire dal *density plot*, mediante derivata prima. Per evitare di falsare l'istogramma del canale rosso, il diagramma di frequenza non tiene conto dei pixel contenuti nel cielo.

Il passaggio successivo ha previsto l'individuazione delle immagini acquisite in condizioni meteo di *clear sky*, tali da permettere la selezione di dati di buona qualità utili nel proseguo dell'analisi.

Il canale blu è quello che è risultato maggiormente influenzato da fenomeni di diffusione atmosferica, per questo motivo analizzando l'andamento nel tempo del valore minimo del canale blu all'interno di una ROI relativa a un'area sufficientemente ampia è stato possibile mettere in evidenza le differenze tra giorni di *clear sky* e giorni *cloud sky*. Questo sistema di filtraggio è stato confrontato con un metodo statistico impiegato nel filtraggio di serie temporali (MAD, *median absolute deviation*, Y. H. Yang and M. D. Levine, 1992), basato sulla deviazione standard relativa al valore mediano calcolato all'interno di una finestra mobile sulla serie, e con il *Cloudiness Index* appositamente calcolato come rapporto tra radiazione globale misurata al sito riferita e radiazione potenziale (Bird and Hulstrom, 1981).

Calcolo degli indici ottici e stima delle fasi fenologiche

Per l'analisi e il processamento delle immagini è stato messo a punto uno specifico codice in R (versione 2.12.1). L'analisi è stata condotta sia a livello di una specifica area di interesse, sia a livello di singoli pixel. Data la necessità di calcolare indici di vegetazione, quindi riferiti alla parte fogliare, la regione di interesse (*Region of Interest*, ROI) impiegata è rappresentativa delle sole chiome. Gli indici di vegetazione, calcolati a partire da aree di interesse che considerano al loro interno più individui di una stessa specie, hanno permesso pertanto di ottenere un dato medio riferito all'insieme degli individui considerati. Il dato così ottenuto può essere un elemento positivo per la caratterizzazione del sito indagato. Allo stesso tempo, l'estrazione di un unico indice rappresentativo di un'ampia area è una criticità dell'analisi poiché non permette di identificare all'interno dell'area individui distinti che possono manifestare comportamenti diversi, o talvolta anomali. Per questo motivo si è deciso di operare sia a livello di ROI sia a livello di singolo pixel che permette di distinguere singoli individui. La variabilità spaziale delle immagini, dovuta all'influenza del vento e al naturale sviluppo delle chiome fa sì che un pixel non sia rappresentativo di un elemento costante nel tempo (Ahrends, 2008), ma che vari durante la stagione. Per questo motivo l'analisi condotta a livello di pixel ha portato a effettuare un'aggregazione di pixel (*pixel aggregation*), come rappresentativi di una minima area costante nel tempo (la finestra di aggregazione scelta nell'analisi è pari a 10x10 pixel).

Gli indici di vegetazione (*Vegetation Index*, VI) proposti da Richardson et al., (2009) sono stati calcolati a partire da ogni immagine acquisita.

A partire dalla *brightness* totale della ROI (alla somma dei *Digital Number*, DN, presenti nei tre canali RGB) è stato calcolato un indice equivalente alla percentuale di *brightness* del canale verde, *Greenness index* (GI) (eq.1):

$$GI = G_{DN} / R_{DN} + G_{DN} + B_{DN} \quad [1]$$

In cui R_{DN} , G_{DN} , B_{DN} sono rispettivamente i valori in DN dei canali rosso, verde e blu. Inoltre è stato calcolato un indice ulteriore, il *Greenness excess index* (GEI) (eq. 2)

$$GEI = 2 \cdot G_{DN} - (R_{DN} - B_{DN}) \quad [2]$$

Questi indici sono stati estratti per ogni pixel e, a seconda del procedimento (singola ROI o *pixel aggregation*), sono stati successivamente mediati. Per limitare effetti legati alla variabilità giornaliera e per mantenere un dato rappresentativo della singola giornata, gli indici sono stati calcolati utilizzando le immagini acquisite a *midday* (tra le 11.00 e le 13.00, ora solare).

La maggior parte dei dati scartati è concentrata nella fase di sviluppo della vegetazione (mese di maggio). Durante questa fase, grazie al germogliamento e allo sviluppo delle foglie, l'indice GI e l'indice GEI sono correlati con la radiazione intercettata dalla vegetazione (*fraction of Intercepted photosynthetically active radiation*, fIPAR), dato misurato presso la stazione di misura e continuo. Questa, appositamente posta in regressione con gli indici GI e GEI, ha permesso il *gap-filling* delle serie di questi.

Le serie così ottenute sono state interpolate con una spline cubica e, a partire dai percentili da questa derivati, sono state definite le metriche corrispondenti alle date osservate in campo relative alle diverse fasi fenologiche della vegetazione. Le osservazioni di campo sono state effettuate a frequenza settimanale durante primavera e autunno, seguendo il protocollo per studi fenologici a livello di foresta (Partanen et al. 1998; Norby et al. 2003; Richardson et al. 2006, Migliavacca et al. 2008). Le metriche definite valide per l'estrazione delle date di partenza e senescenza della stagione vegetativa sono quelle che presentano il minor scostamento dalle date di partenza e fine osservate in campo.

Applicazione modello fenologico (GSI)

Il modello *Growing Season Index* (GSI, Jolly et al., 2005) permette di modellare lo sviluppo della vegetazione a partire da tre fattori climatici di controllo: Temperatura minima giornaliera T_{MIN} (°C), fotoperiodo (h), e deficit di pressione di vapore VPD (Pa). Il valore giornaliero dell'indice GSI è stato calcolato basandosi su una media mobile, kernel pari a 21 giorni, dell'indice iGSI. Questo è stato invece calcolato dal prodotto dei tre fattori prima descritti, che si assume varino linearmente tra 0 e 1. I valori di input del modello, rappresentati in figura 2, sono i parametri climatici T_{mmax} , T_{mmin} , Ph_{max} , Ph_{min} , VPD_{max} e VPD_{min} che rappresentano il valore minimo e massimo al di sotto o al di sopra del quale lo sviluppo della *canopy* è totalmente o per nulla limitato. Per il caso in analisi, oltre ai valori dei parametri definiti in Jolly et al. (2005), sono stati utilizzati ulteriori valori derivati da Migliavacca et al. (2008), in cui il modello GSI è stato ottimizzato sulle date fenologiche osservate in campo e che ha portato a definire soglie distinte delle tre variabili meteorologiche.

Oltre a valutare quale sia il modello che meglio si adatta alla condizione analizzata, permettendo di definire date di partenza e fine della stagione con maggiore accuratezza (confronto con osservazioni di campo), si è valutata la correlazione degli indici GI e GEI con l'andamento del GSI, in entrambe le varianti del modello.

Parametri	GSI (Jolly et al., 2005)	GSI (Migliavacca et al. 2008)
T_{mmin} (°C)	-2.0	-2.9
T_{mmax} (°C)	5.0	2.0
Ph_{min} (h)	10.0	4.6
Ph_{max} (h)	11.0	9.1
VPD_{min} (Pa)	900	4100
VPD_{max} (Pa)	900	4100
Soglia	0.5	0.8

Figura 2 – Parametri climatici e rispettivi valori nelle due varianti impiegate del modello GSI.

Risultati e discussione

Filtraggio delle immagini e generazione della serie temporale

La necessità di individuare il posizionamento dei pixel saturi ha portato alla realizzazione di una mappa di saturazione (Fig. 1a). Questa rappresenta l'intensità, intesa come numero di volte in cui un pixel risulta essere saturo (valore DN pari a 255) all'interno della serie temporale considerata. La mappa realizzata mette in evidenza come determinate zone all'interno dell'immagine presentino spesso saturazione (colore giallo in figura 3).

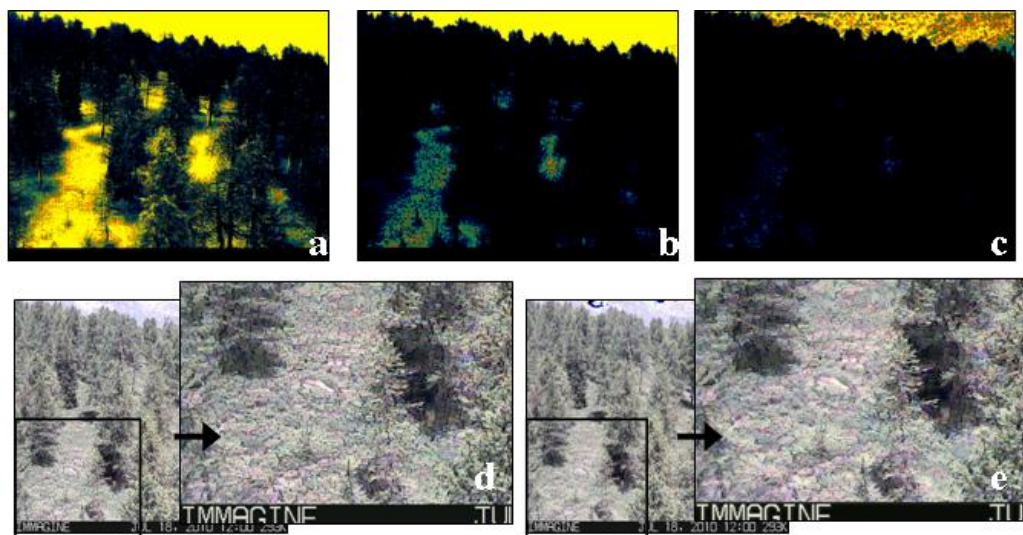


Figura 3 – A) Mappa di saturazione ottenuta dall'analisi della serie originale. Scala cromatica variabile tra 0 (in nero) e >70 (giallo), rappresenta il numero di volte che un pixel si trova in condizioni di saturazione; B) Mappa di saturazione della serie filtrata, kernel = 3x3; C) Mappa di saturazione della serie filtrata, kernel = 6x6 pixel; D) Immagine non filtrata; E) immagine filtrata (LEE filter) con kernel = 6x6 pixel.

Nonostante le aree maggiormente interessate da saturazione corrispondano al sottobosco e al cielo, la mappa di saturazione mette in evidenza come anche parte delle chiome siano, con minore intensità, presentino pixel saturi. In figura 3 sono riportate le mappe di saturazione ottenute a seguito del filtraggio con filtri adattivi, sia per la rimozione dei pixel saturi, sia per la riduzione del rumore dell'immagine. È possibile notare come l'applicazione dei filtri adattivi abbia portato a una significativa riduzione della saturazione dell'immagine e a una riduzione del rumore dell'immagine. La riduzione del numero di pixel saturi, e della loro frequenza, a seguito del filtraggio conferma la bontà del sistema e porta a preferire un filtraggio effettuato con finestre di dimensioni maggiori (6x6 pixel, fig. 3c). La presenza di pixel saturi nelle immagini filtrate è dovuta alla vicinanza di numerosi pixel nella serie originale delle immagini. Un filtraggio basato sull'impiego di kernel di dimensioni inferiori all'area coinvolta da saturazione, permette di ridurre il numero di pixel saturi ma non di eliminarli completamente. In questo caso un kernel di dimensioni pari a 6x6 pixel è stato ritenuto ottimale poiché permette di ottenere un filtraggio valido senza andare a compromettere le caratteristiche spaziali dell'immagine.

Per la selezione delle immagini acquisite in condizioni di *clear sky* si è utilizzato il valore minimo sul canale del blu, analizzandone l'andamento all'interno di una ROI sufficientemente ampia. Gli andamenti del valore minimo del canale blu sono riportati in figura 4.

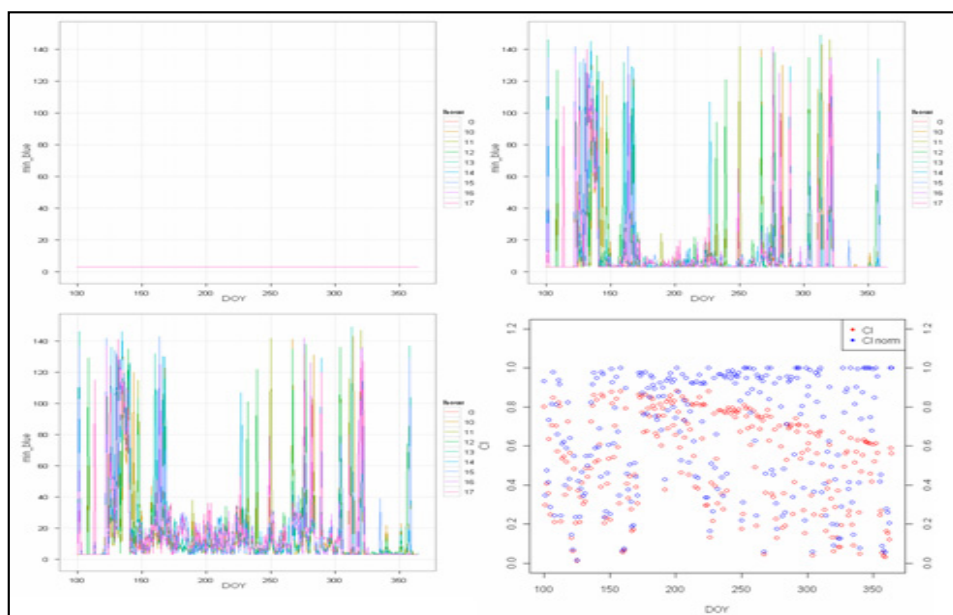


Figura 4 – A) Andamento del minimo del canale blu, serie originale. B) Andamento del minimo del canale blu, serie filtrata kernel 3x3 pixel. C) Andamento del minimo del canale blu, serie filtrata kernel 6x6 pixel, i diversi colori corrispondono alle diverse ore del giorno. D) Andamento del CI. In rosso CI, in blu CI normalizzato in base alla radiazione globale incidente.

Questi sono relativi alle tre diverse serie temporali considerate: serie originale; serie filtrata mediante filtri di LEE (kernel = 3x3); serie filtrata mediante filtri di LEE (kernel = 6x6). Definendo una ROI di dimensioni piuttosto ampie è possibile evidenziare le differenze negli andamenti relativi al valore minimo del canale blu nelle tre serie di immagini impiegate. Infatti nella serie originale il valore analizzato risulta sempre pari a 3 (valori di DN <3 non sono stati considerati, poiché ritenuti non significativi). I valori relativi alle due serie filtrate sono invece distinti e assumono valori variabili a seconda delle acquisizioni effettuate (fig. 4b-c). Questo è un'ulteriore conferma della bontà del filtraggio: la presenza di DN identici del minimo di blu al variare della acquisizioni riconducono alla presenza di un rumore dell'immagine caratterizzato da pixel "corrotti" aventi sempre il medesimo valore. Con il filtraggio questi pixel assumono valori diversi, (media dei pixel dell'intorno), ciò spiega il perché di valori di minimo nel blu maggiori nella serie filtrata con kernel = 6x6 rispetto a quella con kernel = 3x3. Dalle serie dei minimi di blu è possibile quindi discriminare con un'apposita soglia i giorni di *clear sky*. Tramite un'analisi visiva delle immagini è risultato che i giorni di brutto tempo presentano un valore minimo nel canale del blu (immagini filtrate 6x6) superiore a circa 40 DN.

Il sistema di filtraggio sul canale del blu è stato confrontato con il valore di *Cloudiness index*, CI (Fig. 4d). Data la rapida variabilità meteorologica in ambiente alpino un valore giornaliero di CI, può non essere rappresentativo della situazione istantanea presente al sito durante l'acquisizione di un'immagine, e ciò è testimoniato dalla bassa correlazione tra valore minimo del canale del blu e CI ($r = -0.19$). Tra i giorni evidenziati come *cloudy* dal CI e quelli evidenziati come *cloudy* dal minimo del blu, da riscontro visivo si è riscontrato che il minimo del blu è più attendibile del CI, il quale si rivela poco affidabile per questo tipo di analisi.

In figura 5 è riportato un confronto grafico della stessa serie temporale dell'indice GI (valore medio a *midday*) nel tempo. I due grafici differiscono in quanto relativi a due distinte tipologie di

filtraggio: MAD, e soglia sul valore minimo del canale blu. Nell'immagine i punti in nero sono quelli scartati dal sistema di filtraggio considerato.

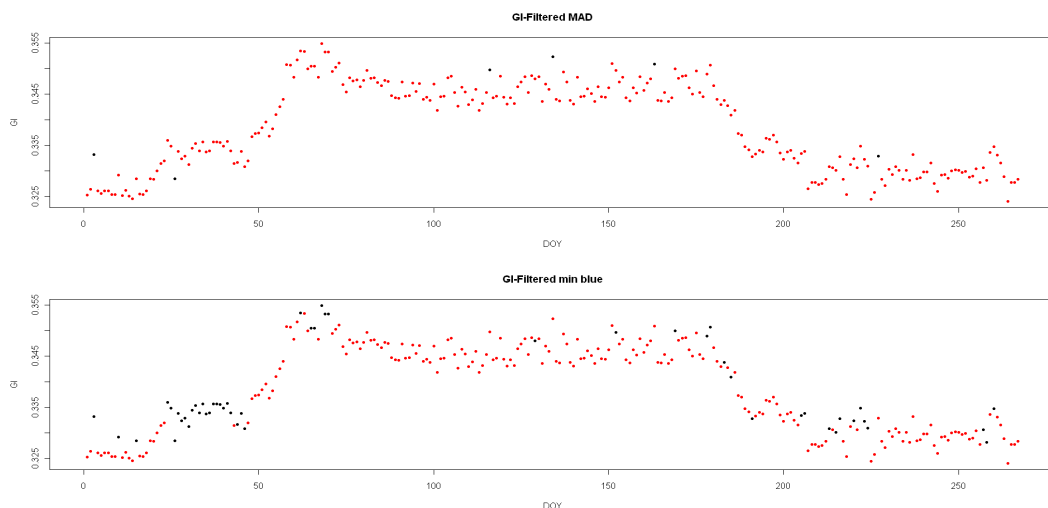


Figura 5 – Confronto serie indici GI. A) filtraggio con filtro MAD; B) filtraggio con soglia sul valore minimo del canale blu. In nero i dati scartati dal filtraggio considerato.

Come si può notare dal confronto grafico (Fig. 5), il filtraggio MAD non esclude i valori di GI che vengono estratti da immagini acquisite in condizioni di brutto tempo. Di conseguenza, essendo la serie temporale del 2010, influenzata da un lungo periodo ininterrotto di cattivo tempo nei primi 20 giorni di maggio, l'indice GI ottenuto senza tenere in conto debitamente delle condizioni meteo introduce un errore che porta a modificarne l'andamento durante la stagione.

Pertanto sembra che i risultati ottenuti dalla soglia sul valore minimo del blu sono più conservativi e conseguentemente più efficaci nello scartare dati di cattiva qualità. Questi risultati hanno portato a scegliere il metodo di filtraggio sulle soglie del blu. Nel calcolare l'indice GI, in entrambi i procedimenti, sia l'analisi relativa alla ROI (fig.1 b), sia quella relativa alla *pixel aggregation*, sono state scartate le porzioni di immagine considerate in ombra, per limitare ulteriormente gli effetti connessi alla variabilità giornaliera.

I dati mancanti nella fase di sviluppo sono stati ricostruiti mediante confronto con fIPAR misurata al sito. In figura 5 è riportato confronto tra fIPAR e GI all'interno di un intervallo che va dal DOY 108 al DOY 174. Il buon risultato della correlazione così ottenuta ($r^2 = 0.94$) conferma la possibilità di impiegare il dato di fIPAR per il *gap-filling* della serie stagionale di GI.

Analisi degli indici di colore e degli indici fenologici

In figura 6a sono riportati gli andamenti dell'indice GI, riferiti a diverse ROI distribuite casualmente all'interno dell'immagine. È possibile notare come gli andamenti dell'indice varino significativamente all'interno dell'area considerata, pur rappresentando la stessa specie vegetale (*Larix decidua*).

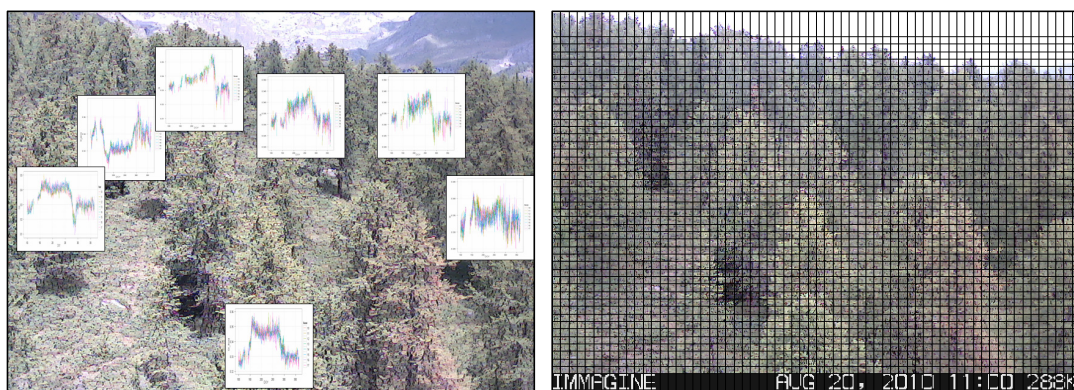


Figura 6 – a) andamento dell'indice GI relativo a 6 ROI casuali interne all'immagine.
b) suddivisione dell'immagine in aggregazione di pixel (pixel aggregation, 10x10).

Le variazioni tra le diverse ROI, in cui si nota un degrado dell'informazione all'aumentare della distanza dalla camera, non sono dovute al diverso comportamento degli individui analizzati, ma dipendono da artefatti legati all'acquisizione delle immagini (bilanciamento automatico del bianco, compressione da dato raw all'estensione visualizzata .JPEG). Questo ha implicato la selezione di una ROI (fig. 1b) che permettesse di ovviare al problema della distanza, e che allo stesso tempo considerasse più individui, restituendo un'informazione su un processo legato a un campione eterogeneo dell'ecosistema considerato. Dalla serie annuale degli indici GI e GEI, calcolati all'interno di tale ROI, e dalla successiva applicazione di una *spline* cubica è stato possibile confrontare gli andamenti ottenuti con le osservazioni di campo effettuate. Si valutato quale metrica (percentile nella crescita e nella decrescita della curva) presentasse il minore scarto con le date di partenza e senescenza osservate in campo. I risultati ottenuti, figura 7, mostrano che il 50° percentile è il termine che più si avvicina alle date osservate.

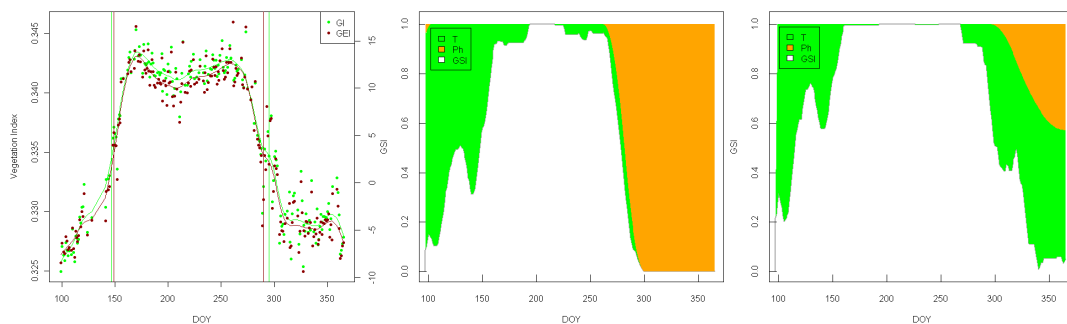


Figura 7 – a) Andamento degli indici considerati, GI (in verde), GEI (in marrone). Le linee che interpolano i punti rappresentano le spline cubiche relative e le linee verticali sono riferite alle date ottenute dal 50° percentile. b) GSI ottenuto con parametri di input di Jolly et al. (2005), in verde la limitazione dovuta alla temperatura, in arancione quella dovuta al fotoperiodo. c) GSI ottenuto con parametri di input di Migliavacca et. al (2008).

Dal confronto tra gli indici GI e GEI e l'indice GSI ottenuto impiegando le due varianti del modello (Jolly et al. 2005, Migliavacca et al., 2008) è emersa una buona correlazione con entrambi ($r^2=0.8$). Questo a conferma della possibilità d'impiego di un indice di cromaticità dell'immagine webcam per il monitoraggio delle fasi fenologiche della vegetazione.

La differente forma dell'andamento delle due varianti di GSI è attribuibile ai diversi parametri di input considerati nei due modelli. Seppur il fattore limitante in entrambe le varianti del modello risulta essere la temperatura minima dell'aria, le limitazioni imposte dal modello GSI, nella variante di Jolly et al., sono più restrittive rispetto a quelle definite per la seconda variante, il che implica una sottostima della stagione fenologica dell'ecosistema. Infatti valutando le date di inizio e fine della stagione vegetativa stimate dai due modelli, limitatamente all'anno e all'ecosistema considerato, risultano maggiormente affette da errore quelle ottenute dalla variante di Jolly et al (Fig. 8).

	Data inizio	Errore stima (gg)	Data fine	Errore stima (gg)
Osservazioni di campo	147	---	290	---
GI	147	0	295	5
GEI	149	2	290	0
GSI (Jolly et al.)	148	1	279	11
GSI (Migliavacca et al.)	152	5	293	3

Figura 8 – Tabella riassuntiva dei valori stimati con diversi indici delle date di inizio e fine della stagione fenologica.

Attraverso l'analisi degli indici di vegetazione realizzata in *pixel aggregation* è stato possibile ottenere una mappa di senescenza. La serie di giorni di brutto tempo durante la fase di sviluppo non ha permesso di ottenere l'equivalente mappa di partenza. La griglia mostrata a partire dalla quale è stata effettuata la *pixel aggregation* (figura 5b) non considera la maggior parte del cielo mentre include oltre che ai larici il sottobosco. Nonostante i problemi riguardanti le limitazioni strumentali che non permettono di avere un dato affidabile nelle aree dell'immagine poste a maggiore distanza dalla webcam, la mappa di senescenza è un risultato incoraggiante poiché permette di discriminare aree e popolamenti distinti tra loro. È infatti evidenziato un pattern dominante, in marrone in figura, relativo ai larici, le cui date di senescenza sono approssimativamente stimate tra DOY 250 e DOY 300, il che corrisponde alle date osservate in campo; in rosso sono invece evidenziate le aree in cui non viene raggiunta la data di senescenza e queste corrispondono alle aree di sottobosco, e al cielo all'orizzonte; infine viene evidenziata in verde una pianta da un andamento anomalo, la cui data di senescenza viene stimata nell'intervallo compreso tra il DOY 150 e il DOY 200. Questo individuo, da segnalazioni di campo e dalle stesse osservazioni delle immagine webcam, è stato evidenziato presentare uno sviluppo anomalo caratterizzato da una rapida crescita seguita nell'immediato da un precoce ingiallimento delle foglie. Questi risultati indicano la validità di un sistema di analisi spaziale che, pur partendo da un dato di qualità modesta, permette di estendere un'informazione puntuale ad un'intera area, distinguendo le differenze esistenti tra diversi alberi.



Figura 8 – Mappa di senescenza. Da verde chiaro, corrispondente al DOY 150, a rosso, corrispondente al termine dell'anno.

Conclusioni

Il presente studio ha mostrato come l'analisi di immagini prese mediante una stazione webcam permette di ottenere informazioni ad alta risoluzione temporale utili al monitoraggio del ciclo fenologico della vegetazione.

Il dato di partenza è comunque influenzato sia dal sistema di acquisizione dello strumento, sia dalle condizioni atmosferiche al momento dell'acquisizione, e pertanto sono necessarie tecniche di pre-trattamento delle immagini al fine di ottenere un dato di qualità migliore. I filtri applicati nella fase di *pre-processing* hanno mostrato risultati soddisfacenti per quanto riguarda il miglioramento della qualità del dato, e hanno permesso di definire una procedura volta a selezionare i dati acquisiti in condizioni meteorologiche avverse e quindi non significativi. È stato riscontrato che la scarsa qualità del dato è maggiormente evidente nelle aree di ripresa più distanti, che sono poco rappresentative dell'area analizzata.

Il confronto tra l'andamento degli indici derivati da immagini webcam, e quelli di origine fenologica, seppur limitatamente a un unico anno di acquisizione, sembra indicare che questo strumento, relativamente economico e di sempre maggiore diffusione, consente il monitoraggio di prossimità di ecosistemi terrestri.

L'applicazione delle due varianti del modello GSI ha messo infine in evidenza come la variante di Migliavacca et al. (2008) sia quella che meglio stima la durata del ciclo fenologico, in quanto considera soglie meno restrittive dei fattori climatici limitanti.

Infine l'analisi a due livelli distinti, (a livello di ROI e a livello di *pixel aggregation*) ha portato alla caratterizzazione spaziale oltre che temporale del dato ottenuto e, seppur con determinate limitazioni, apre la strada a sviluppi futuri e a nuove applicazioni delle webcam, permettendo di evidenziare aree interne all'immagine soggette a un differente comportamento durante la stagione considerata.

Bibliografia

- Lee, Jong-Sen, (1980). Digital Image Enhancement and Noise Filtering by Use of Local Statistics. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol PAMI-2, No.2, March, pp. 165-168.
- Y. H. Yang and M. D. Levine, "The background primal sketch: an approach for tracking moving objects," in *Machine Vision and Applications*, vol. 5, 1992, pp. 17-34.
- Bird, R.E., Hulstrom, R.L., 1981. A Simplified Clear Sky Model for Direct and Diffuse Insolation on Horizontal Surfaces. Solar Energy Research Institute, Golden.
- Lieth H (1974) Phenology and seasonality modelling. Springer, Heidelberg
- Schwartz MD, Reiter BE (2000) Changes in North American spring. *Int J Climatol* 20:929-932
- Badeck FW, Bondeau A, Böttcher K, Doktor D, Lucht W, Schaber J, Sitch S (2004) Responses of spring phenology to climate change. *New Phytologist* 162:295-309
- Busetto, L., Colombo, R., Migliavacca, M., Cremonese, E., Meroni, M., Galvagno, M., Rossini, M., Siniscalco, C., Morra Di Cella, U., Pari, E., 2010. Remote sensing of larch phenological cycle and analysis of relationships with climate in the Alpine region. *Global Change Biology* 16 (9), 2504-2517.
- Fonti, P., von Arx, G., Garcia-Gonzalez, I., Eilmann, B., Sass-Klaassen, U., Gartner, H., Eckstein, D., 2010. Studying global change through investigation of the plastic responses of xylem anatomy in tree rings. *New Phytologist* 185 (1), 42-53.
- Migliavacca, M., Cremonese, E., Colombo, R., Busetto, L., Galvagno, M., Ganis, L., Meroni, M., Pari, E., Rossini, M., Siniscalco, C., di Cella, U.M., 2008. European larch phenology in the Alps: can we grasp the role of ecological factors by combining field observations and inverse modelling? *International Journal of Biometeorology* 52 (7), 587-605.
- Moser, L., Fonti, P., Buntgen, U., Esper, J., Luterbacher, J., Franzen, J., Frank, D., 2010. Timing and duration of European larch growing season along altitudinal gradients in the Swiss Alps. *Tree Physiology* 30 (2), 225-233.

- Ahrends, H.E., Brugger, R., Stockli, R., Schenk, J., Michna, P., Jeanneret, F., Wanner, H., Eugster, W., 2008. Quantitative phenological observations of a mixed beech forest in northern Switzerland with digital photography. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 113, G4.
- Richardson, A.D., Braswell, B.H., Hollinger, D.Y., Jenkins, J.P., Ollinger, S.V., 2009. Near-surface remote sensing of spatial and temporal variation in canopy phenology. *Ecological Applications* 19 (6), 1417–1428.
- Richardson, A.D., Jenkins, J.P., Braswell, B.H., Hollinger, D.Y., Ollinger, S.V., Smith, M.L., 2007. Use of digital webcam images to track spring green-up in a deciduous broadleaf forest. *Oecologia* 152 (2), 323–334.
- Jacobs, N., Burgin, W., Fridrich, N., Abrams, A., Miskell, K., Braswell, B.H., Richardson, A.D., Pless, P., 2009. The Global Network of Outdoor Webcams: Properties and Applications. In: *ACM GIS'09*, Seattle, WA, USA.
- Bradley, E., Roberts, D., Still, C., 2010. Design of an image analysis website for phenological and meteorological monitoring. *Environmental Modelling and Software* 25 (1), 107–116.
- Sonnentag, O., Detto, M., Vargas, R., Ryu, Y., Runkle, B.R.K., Kelly, M., Baldocchi, D.D., 2011. Tracking the structural and functional development of a perennial pepperweed (*Lepidium latifolium* L.) infestation using a multi-year archive of webcam imagery and eddy covariance measurements. *Agricultural and Forest Meteorology* 151, 916–926.

Il miglioramento, attraverso l'impiego di nuove tecnologie, delle performance delle aziende che operano nei settori del turismo, della cultura o della tutela e gestione dell'ambiente

Gaetano La Bella

A.N.F.E. Delegazione Regione Sicilia, Ente di Formazione Professionale
Via Sacra Famiglia 36, Palermo, Tel. 349.6347744, glabella@anfe.it

Riassunto

Lo scopo del lavoro è stato utilizzare uno strumento di supporto alle decisioni in grado di identificare punti di forza e di volubilità di un territorio al fine di soddisfare la domanda del turista e costruire un'immagine ambientale del luogo per migliorare la sua gestione.

Abstract

The purpose of this study was to use a decision support tool that can identify points of strength and volatility of an area in order to meet the demand of tourists and build a picture of the local environment to improve its management.

Lo scopo del presente lavoro è stato il rafforzamento della competitività turistica del territorio circoscritto alla Valle del Platani, (Sicilia centro-meridionale) attraverso l'impiego di tecnologie Gis, un sistema informativo geografico in grado di raccogliere, archiviare, visualizzare, trasformare e monitorare dati spaziali. L'area in esame comprende il territorio modellato dal fiume Platani (86 km), dalle sorgenti sino alla foce, cui fanno capo diciassette Comuni: Castronovo di Sicilia, Cammarata, San Giovanni Gemini, San Stefano Quisquina, Acquaviva Platani, Alessandria della Rocca, Casteltermini, Sutura, San Biagio Platani, Campofranco, Ciana, Sant'Angelo Muxaro, Aragona, Ribera, Cattolica Eraclea, Montallegro, Siculiana.

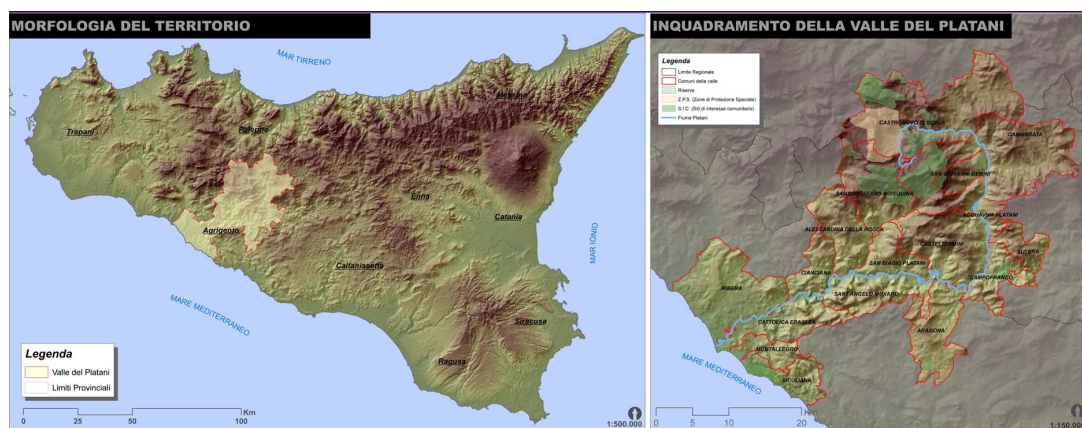


Figura 1 – Inquadratura territoriale dell'area di studio.

Il progetto ha avuto come scopo quello di valorizzare e rendere fruibile le risorse ambientali e culturali del territorio. L'analisi della Valle del Platani ha rivelato le potenzialità culturali e ambientali di un'area che si presenta ricca di risorse in grado di soddisfare la domanda turistica, ma carente in materia di servizi. Gli obiettivi preposti sono stati:

- ✓ La valorizzazione dell'identità culturale e ambientale.
- ✓ L'incremento del prodotto turistico, che si basa su elementi strutturali (alberghi, campeggi, agriturismi, ecc.) ed elementi immateriali (motivazioni psicologiche che inducono il turista a relazionarsi con il territorio).
- ✓ La promozione di itinerari alternativi.
- ✓ L'individuazione dei comuni che hanno una maggiore vocazione turistica.

Il progetto è stato suddiviso in due fasi: la prima di ricerca e a seguire la fase di elaborazione delle informazioni. Nella prima fase sono stati definiti gli ambiti di lavoro, scelti sulla base degli obiettivi preposti.

L'elaborazione dei dati è stata suddivisa nella prima parte di progettazione, costruzione e realizzazione di una banca dati di dettaglio; nella seconda fase si è passati alla scelta e al calcolo degli indici di tutti quegli elementi di supporto al settore turistico.

In particolare sono stati definiti e ricavati gli ambiti riguardanti:

1. La Ricettività turistica
2. Le Infrastrutture
3. Le Offerta di trasporto
4. Il Settore naturalistico
5. Il Settore culturale

Per quel che riguarda l'*Ambito della ricettività turistica* si è cercato di reperire dati sulle diverse categorie ricettive e implementato lo strato informativo per poi indicizzare la competitività dei vari comuni ricadenti nell'area di studio e di seguito confrontati.

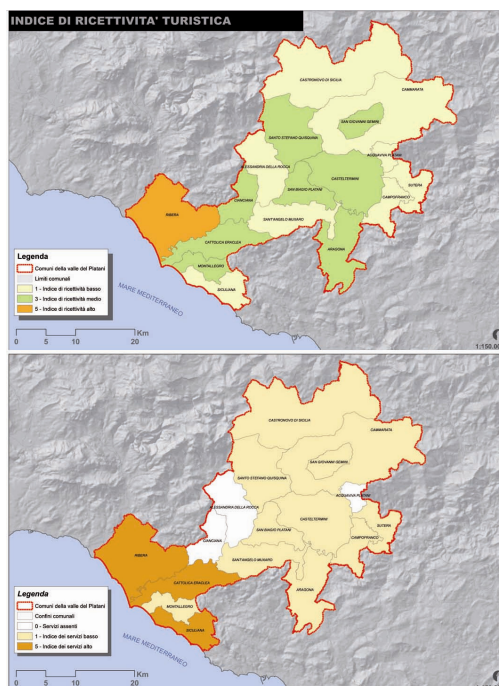


Figura 2 – Rappresentazione dell'Indice di ricettività turistica ripartito per ogni singolo comune ricadente nell'area di studio della Valle del Platani.

Per l'*Ambito infrastrutturale* sono stati reperiti dati sulle diverse tipologie infrastrutturali lineari (gommate e ferrate); implementati ed editati (attraverso la ricostruzione ideale basata sul confronto con la cartografia storica e attuale) gli strati informativi; indicizzata la distribuzione in km lineari della dotazione infrastrutturale lineare dell'area di studio.

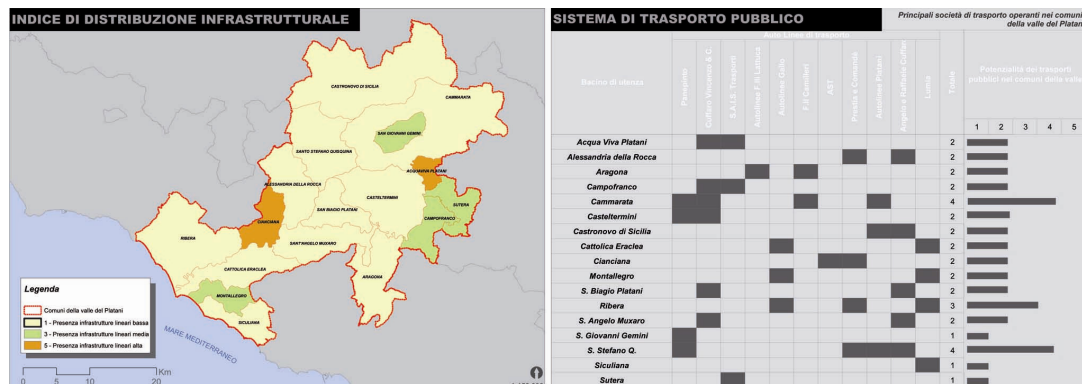


Figura 3 – Rappresentazione dell'Indice di distribuzione infrastrutturale ripartito per ogni singolo comune ricadente nell'area di studio della Valle del Platani.

Per l'*Ambito dell'offerta di trasporto* sono state reperite le informazioni sulle diverse tipologie di trasporto (pubblico e privato); implementati gli strati informativi; quantificati e censiti per distribuzione tutte le società di trasporto competenti per singolo comune.

Per l'*Ambito naturalistico* sono state reperite le informazioni sulle diverse tipologie di uso del suolo; si è proceduto ad una valutazione areale delle Aree Protette, dei S.I.C. (Siti di Interesse Comunitario) e dei Geositi (i beni *geologici-geomorfologici* di un territorio intesi quali elementi di pregio scientifico e ambientale del patrimonio paesaggistico); si è passati alla definizione della relativa incidenza sulle aree comunali, con particolare attenzione alle aree boschive e completato attraverso la redazione di schede informative sulle biodiversità.

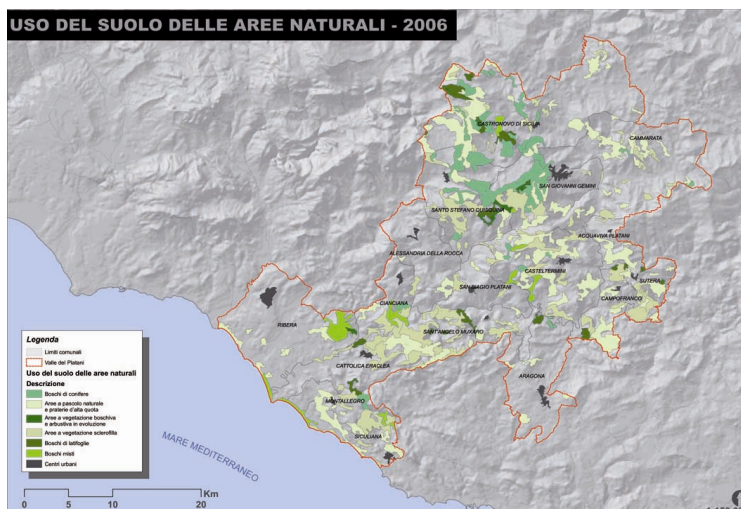


Figura 4 – Carta dell'uso suolo delle aree naturali riferite all'anno 2006.

Per l'*Ambito culturale* il reperimento dati si è sviluppato sulle informazioni del patrimonio culturale (aspetto archeologico, artistico, architettonico, etno-antropologico) valutando l'incidenza del patrimonio di ogni comune rispetto alla somma delle ricchezze culturali dell'area esaminata.

L'utilizzo di un software innovativo come il GIS ha permesso notevoli vantaggi:

- a) Risparmio temporale.
- b) Risparmio economico.
- c) Individuazione e quantificazione delle risorse su diverse scale territoriali
- d) Monitoraggio spazio-temporale (localizzazione delle risorse ed il loro sviluppo nel tempo).

Da un punto di vista delle ricadute sia economiche che socio-culturali, il progetto mira a valorizzare un territorio a lungo trascurato, a causa della vicinanza di aree considerate ormai da tempo i grandi poli di attrazione della Sicilia meridionale (Agrigento, Eraclea Minoa, Selinunte). Le ricchezze culturali e ambientali che definiscono un'identità locale, tradotte in termini economici e socio-culturali, sono in grado di produrre indotti su scala territoriale. Secondo il principio fondamentale del modello economico, al miglioramento dell'offerta corrisponde un aumento della domanda turistica: il potenziale turista sceglie la zona da visitare in base al quantitativo di risorse ambientali e culturali, alla disponibilità dei servizi ricettivi, alla sua accessibilità e al risparmio economico.

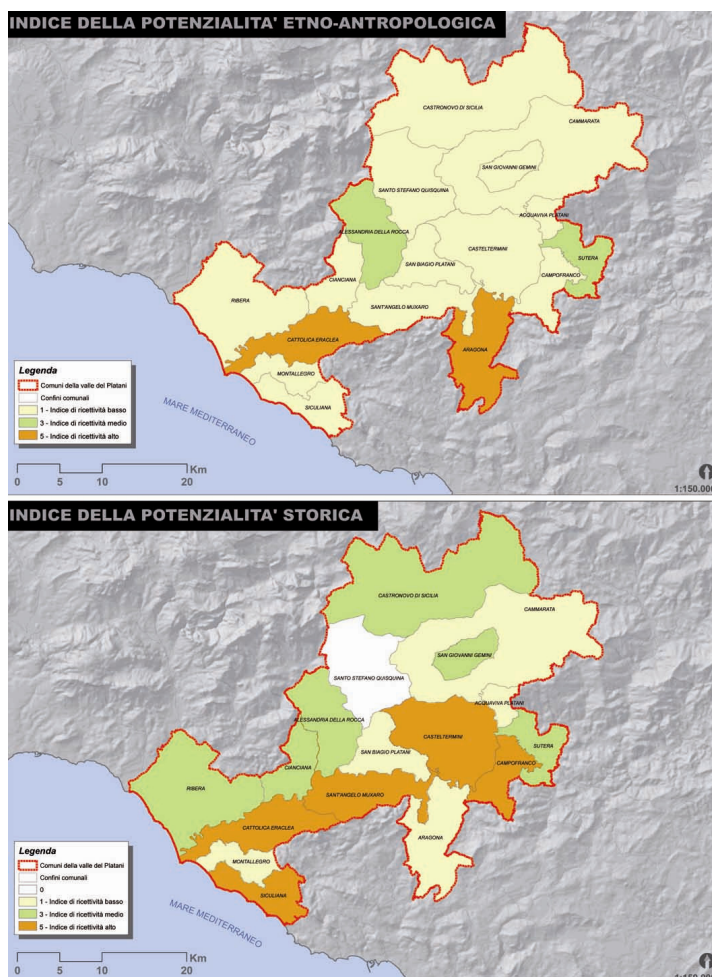


Figura 5 – Altri elaborati tematici del progetto.

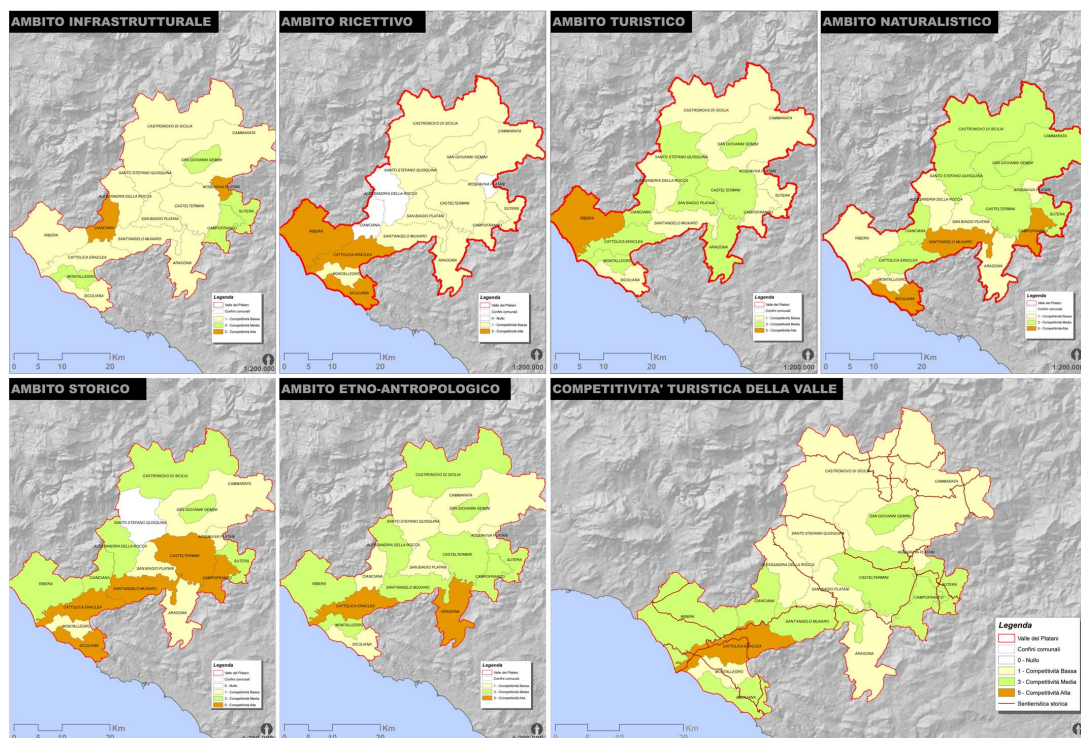


Figura 6 – Raggruppamento di tutti gli indici sviluppati e la restituzione cartacea dell'indice della competitività turistica dell'area di studio.

Un sistema informativo territoriale per la tutela del patrimonio archeologico

Gaetano La Bella

A.N.F.E. Delegazione Regione Sicilia, Ente di Formazione Professionale
Via Sacra Famiglia 36, Palermo, Tel. 349.6347744, glabella@anfe.it

Riassunto

Lo scopo del lavoro è stato l'aggiornamento dell'ultima CTR, con l'aiuto dello strumento GPS e foto satellitari e usando un software gis è stato creato qualche tematismo relativo ai nuovi oggetti trovati nell'area archeologica situata sul Monte Jato.

Abstract

The target of work is to update of the last CTR, with the help of the GPS instrument and satellitary photos and using the software desktop gis has been made some thematic about the new objects founded in the archeological area situated on Monte Jato.

Lo scopo del presente lavoro ha riguardato l'implementazione in ambiente Desktop Gis di dati archeologici dell'area di Monte Jato (852 m s.l.m.), ricadente nei territori dei comuni di San Cipirello e di San Giuseppe Jato della provincia di Palermo. I limiti dell'area sono inquadrati dalle seguenti coordinate.

Monte Mario Italy 2

UL: 37.969641 37.964203

LR: 13.193549 13.213519

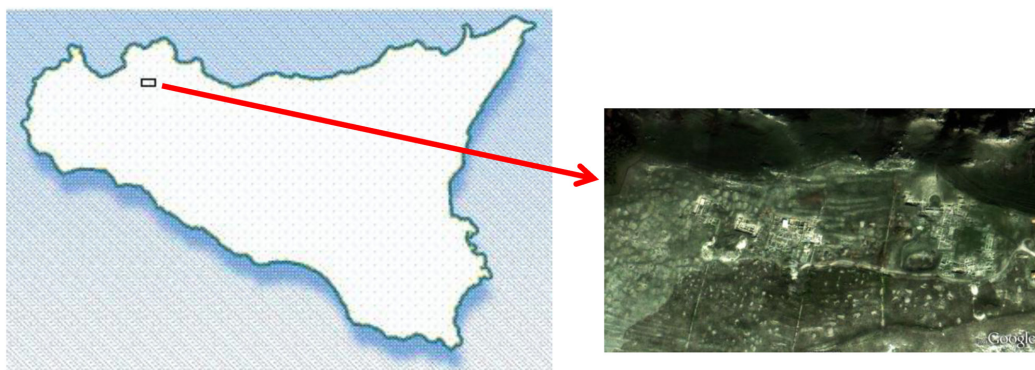


Figura 1 – Ubicazione e foto satellitare dell'area di studio (da google maps).

Qui si trovano le rovine dell'antica città greca di ΙΑΙΤΑΣ. Un'occupazione ininterrotta, durata oltre duemila anni ed ampiamente documentata attraverso una complessa stratificazione, rende l'insediamento sul Monte Iato fra i più interessanti e ricchi di storia della nostra isola.

La montagna, situata nell'immediato entroterra palermitano e sovrastante gli abitati di San Cipirello e San Giuseppe Iato, costituisce l'estrema propaggine meridionale dei Monti di Palermo. Dalla sua cima, elevata per 852 m s.l.m. e a dominio della valle del fiume Iato, è possibile controllare da una parte i valichi attraverso cui è assicurato l'accesso alla costa settentrionale dell'isola e all'area della Conca d'Oro, dall'altra la via di percorrenza naturale costituita dalla vallata del Belice, attraverso cui, nell'antichità, era possibile il collegamento con la costa meridionale e, particolarmente, con la colonia greca di Selinunte.

E' sulla parte alta del monte, su di un vasto pianoro in pendenza verso Sud, che si sviluppò l'area urbana che, parzialmente cinta di mura, misurava circa 40 ettari, con un dislivello interno di oltre 100 metri.

Il nome antico dell'insediamento non è tramandato in modo univoco. Le fonti scritte usano indicare la cittadinanza piuttosto che il nome della città: i cittadini dell'abitato venivano chiamati ΙΑΙΤΙΝΟΙ nelle fonti greche, IETINI e IETENSES in quelle latine.

Il nome della città compare invece su documenti riportati alla luce dagli scavi, e cioè su tegole e su una serie di monete: in questi casi il nome ΙΑΙΤΟΥ è riportato al genitivo (di ΙΑΙΤΑΣ). La forma medievale del nome, GIATO, viene tramandata dalle fonti più tarde che ricordano la città, estremo rifugio dei musulmani di Sicilia.

Del primo insediamento indigeno (primi secoli del I millennio) conosciamo purtroppo molto poco, in quanto le fondazioni dei successivi edifici di età greca, poggiate direttamente sulla roccia, distrussero i precedenti livelli di età protostorica: di quella fase rimangono soltanto pochi fondi di capanne, databili a partire dall'VIII sec. a.C., rinvenuti nell'area del successivo tempio di Afrodite, e resti di focolari e livelli d'uso della fine del VII sec. a.C., in una zona a Sud dell'Agorà.

Incerta rimane ancora, così come per gli altri siti coevi della Sicilia occidentale, la connotazione etnica di queste prime popolazioni indigene, genericamente definibili sicano-elimie.

La componente indigena, o sicano-elima, pur mantenendo una sua precipua identità, si trasformò rapidamente, anche a Monte Iato, a contatto con l'elemento greco: a partire dalla fine del VII sec. a.C. si datano le prime importazioni di materiale greco, quali ceramiche protocorinzie e corinzie, giunte probabilmente attraverso Selinunte.

Dalla metà del VI sec. a.C., il villaggio indigeno conobbe profondi processi di interazione culturale con l'elemento greco coloniale, tanto da lasciare intuire la presenza di un vero e proprio nucleo di popolazione greca, stanziata all'interno della città accanto alle genti autoctone: a questo ambito greco-indigeno sono da ricondurre, per esempio, la grande casa arcaica a due piani con cortile e l'edificio sacro, databile intorno al 550 a.C., detto Tempio di Afrodite, tipologicamente affine ad altri edifici di età arcaica noti nel mondo greco ed in Sicilia.

A partire dal IV sec. a.C. ΙΑΙΤΑΣ, così come tutta la Sicilia occidentale, fu sotto il dominio cartaginese: durante questo periodo, precisamente verso la fine del IV sec. a.C., la città fu interamente ricostruita secondo i canoni dell'urbanistica e dell'architettura greca. Del nuovo impianto fanno parte la rete viaria, con un asse principale costituito da una strada lastricata che tagliava la città in senso Est-Ovest, ed alcuni edifici pubblici di grande rilievo, come il teatro e l'agorà.

Dallo storico Diodoro Siculo sappiamo che la città, tra il 278 ed il 275 a.C., fu assalita da Pirro, re dell'Epiro, e che durante la prima guerra punica (264-241 a.C.) gli Ietini, cacciati i Cartaginesi, si consegnarono ai Romani.

Nella prima età imperiale si conclude l'apogeo della città, nonostante Plinio il Vecchio la annoverasse tra le 50 città più importanti dell'isola.

Intorno al V sec. d.C. la città risulta in rovina, forse anche a causa dell'incursione dei Vandali nel 440 d.C.

Segue il periodo bizantino, scarsamente documentato se si eccettuano alcune monete con le effigi

degli imperatori Leone III, Leone IV e Costantino V (741-775 a.C.). A tale dominio mise fine la conquista islamica della Sicilia nell'827. Le fonti e i documenti di età normanna attestano che la presenza musulmana a Giato (nome della città in età arabo-normanna) era molto forte. Quando, nei primi decenni del XIII secolo, scoppiarono le rivolte delle popolazioni musulmane contro la dinastia sveva, Giato divenne uno dei baluardi dei rivoltosi, fino alla distruzione della città ad opera delle truppe di Federico II, episodio cui seguì la deportazione dei sopravvissuti a Lucera, in Puglia: da quel momento, il sito venne definitivamente abbandonato.

Lo studio si è sviluppato seguendo l'intento di aggiornare le informazioni della Carta Tecnica Regionale Siciliana.

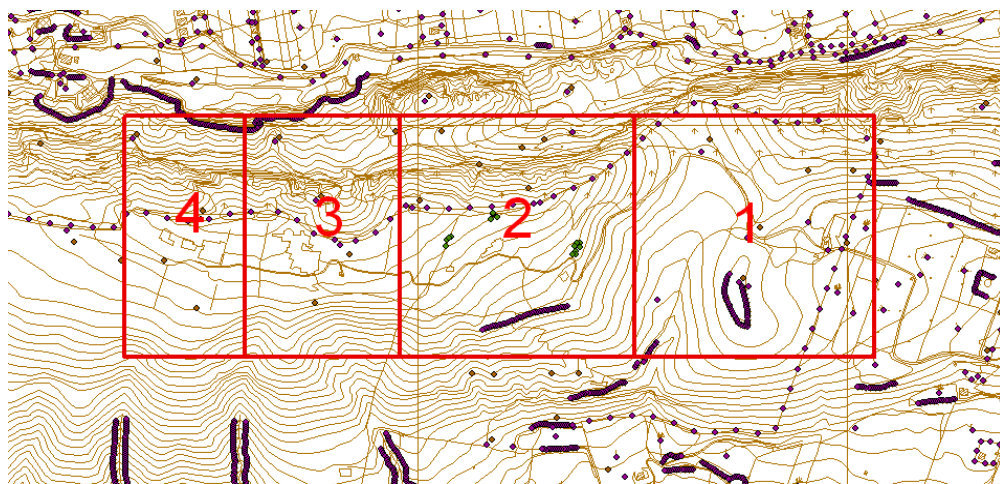


Figura 2 – Zonazione area di studio.

L'area di studio interessata di circa 0,99 km², è stata preventivamente suddivisa in 4 zone ognuna indagata con l'ausilio di apparecchiature GPS e fotografie satellitari, che hanno permesso una ricognizione sul campo con lo scopo di aggiornare, ove possibile, le informazioni a disposizione della Regione Siciliana attualmente esistenti, mettendo in risalto l'attuale stato di conservazione del sito e determinando l'evidente vantaggio di ampliare il livello di conoscenza del territorio.

Lo studio della Zona 1, che ha un estensione di circa 0,32 km². Tale Zona è quella relativamente più distante dal centro abitato e pertinente all'area d'ingresso al parco archeologico. Nell'area ricade il varco d'ingresso al sito, il posteggio per le autovetture e la struttura del personale di custodia; inoltre l'intera superficie è percorsa dalla strada carrozzabile, in battuto, utilizzata dai custodi per raggiungere l'antica zona urbana, e quasi parallela a questa via di accesso, da un sentiero che si sviluppa, stretto, fra i cespugli che crescono vicino.

Oltre queste evidenze, spicca la presenza di un recinto in legno, di recente costruzione, confermatomi dai custodi come uno spazio riservato al passaggio dei cavalli, il tutto all'interno dell'area archeologica.

Subito a seguire, lungo il sentiero che costeggia la strada principale, si nota la presenza di parecchi reperti archeologici, in frantumi più o meno grandi, fuoriuscire dalle sezioni laterali, ed è facile percepire come quasi tutto questo materiale venga estratto da turisti o semplici curiosi, che asportano comunque elementi documentanti la storia dell'antica IAITAS.

Per quanto riguarda la zona 2 è stata riscontrata una carenza di dati sia dal punto di vista terminologico e descrittivo, sia dal punto di vista strutturale. Sono stati così inseriti informazioni più dettagliate e due nuovi elementi strutturali, corrispondenti ai due torrioni che componevano l'accesso monumentale ad Est dell'antica città. La zona 2 comprende l'antica porta urbana orientale

e parte del cosiddetto “quartiere orientale”. Sono stati localizzati quattro siti in particolare, ancora in corso di scavo: in uno di questi sono stati osservati i due torrioni della fortificazione risalenti, secondo gli studi più recenti, all’impianto urbanistico del 300 a.C., che segnavano l’accesso orientale alla città; negli altri siti, si riscontrano edifici risalenti all’epoca ellenistica, in particolare le due case a peristilio; un edificio con diverse fasi di vita.

Nell’area delle due case a peristilio, precisamente a ridosso degli ingressi agli edifici, è stata rilevata una strada lastricata in pietra arenaria, considerata parte dell’asse principale costituente il collegamento interno della città. A circa 150 m da quest’area, proseguendo verso Ovest, è stato identificato un edificio, con diverse fasi di vita: la ceramica rinvenuta in situ documenta una fase più antica risalente all’età classica e una più recente di età medievale.

Sul lato orientale della zona 2 tra alcuni cumuli di pietre di epoca moderna, si denota la presenza di strutture appartenenti probabilmente ad una casa signorile sempre di età ellenistica, caratterizzata da una pavimentazione in opus musivum, di cui rimangono poche tracce.

La zona in cui ricade l’Agorà ed i quartieri residenziali della città nuova è stata identificata come zona 3. Lungo il percorso verso l’area d’ingresso alla zona archeologica, sono stati messi in evidenza diversi filari di muro a secco composti da conci calcarei squadrati.

Prima di arrivare alla zona dell’Agorà, si possono notare degli elementi strutturali, quali rocchi di colonne e resti di architravi, disposti in posizione probabilmente diversa da quella originaria. Poco distante è stato rilevato un cumulo di scarti di scavo, formato prevalentemente da frammenti di tegole e di manufatti in terracotta.

A sud-ovest dell’Agorà, è presente una cisterna destinata alla raccolta delle acque piovane in cui si rileva uno stato di degrado avanzato, con evidenti crolli in particolare nella parete meridionale.

Di particolare rilievo, nella parte più a sud dell’Agorà, all’interno dell’area residenziale, è stata rinvenuta un’abitazione in cui si trova una parete rivestita di intonaco di colorazione bruna; nei pressi di questa, in prossimità della strada, inoltre è possibile notare tre conci squadrati allineati di grosse dimensioni.

All’interno dell’area di studio identificata come zona 4, sono state identificate la Casa a peristilio e il Tempio di Afrodite, adiacente all’abitazione.

La cartografia storica rinvenuta presso gli archivi della biblioteca sita nel Comune di San Giuseppe Jato ci ha indotto a definire nel dettaglio quello che la cartografia CTR identifica in maniera semplicistica, un edificio presente in zona archeologica come “rudere”.

Pertanto si è intrapreso uno studio di dettaglio attraverso tecniche di georeferenziazione con il vantaggio di avere una più dettagliata ricostruzione dell’area. Ciò ha permesso di evidenziare quei dettagli interni dell’area residenziale relativa alla casa, al tempio e alle botteghe. In particolare sono stati digitalizzati, sia come entità lineari che come entità poligonali, i muri perimetrali delle strutture con le adiacenti aree riservate (bagni della casa, botteghe, forno, cortile a peristilio, cella del tempio).

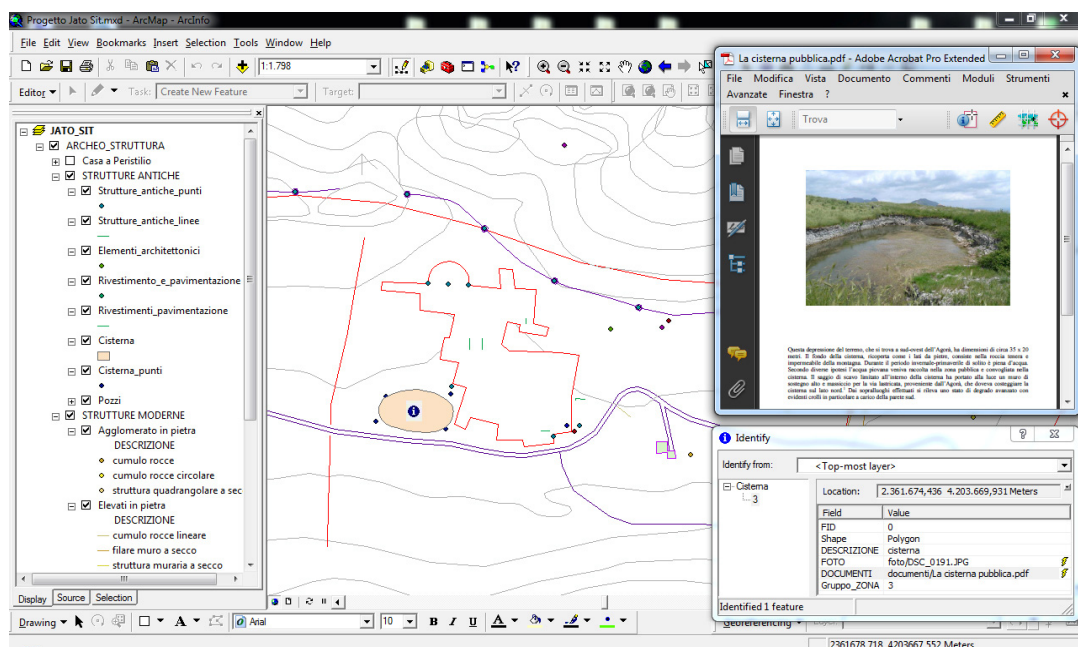


Figura 3 – Interfaccia grafica del progetto Jato_SIT.

Questo dettaglio ha permesso di classificare con opportuna simbologia tutti gli elementi di interesse, tra cui i muri esistenti e ipotizzati, gli accessi e le colonne.

Gli elementi sono stati inclusi in categorie sulla base di caratteristiche strutturali, funzionali ed in relazione al periodo storico. Da queste sono stati creati i rispettivi elementi descrittivi a cui sono state associate delle foto descrittive:

- elementi architettonici in cui sono stati messi in evidenza dei roccchi di colonne e dei resti di architravi con incassi;
- rivestimenti e pavimentazione all'interno della quale è stata inclusa un'abitazione in cui è stato possibile riconoscere l'originale colorazione bruna della parete;
- strutture moderne che racchiude cumuli di rocce lineari e filari di muro a secco;
- strutture antiche caratterizzata da alcuni muri antichi, strutture appartenenti alla stoà e parte del cosiddetto "quartiere di età sveva";
- strutture moderne in cui sono stati descritti dei cumuli di rocce e muri;
- strutture antiche dove sono stati evidenziati elementi di muri antichi, filare costituito da conci squadrati, elementi dell'antico teatro e lastroni appartenenti alla "strada est-ovest";
- cisterna dove si mette in evidenza questo nuovo elemento rispetto alla ctr attraverso foto relative a ciascun spigolo, insieme alla delimitazione della struttura stessa in cui viene descritta la cisterna (delimitata da pareti in pietra visibilmente crollate) di raccolta delle acque superficiali;
- materiali all'interno del quale viene riportato un cumulo di materiali in terracotta, classificati come materiali di scarto;
- pozzi in cui sono stati classificati i pozzi dell'acqua.

In una seconda fase sono state elaborate le informazioni acquisite e appositamente disegnate le rispettive forme dei nuovi elementi e migliorando quelli preesistenti. Si è creato così un sistema informativo che definisce meglio della CTR le strutture antiche dell'Area archeologica e che può essere un valido strumento per la tutela del sito. Tramite l'acquisizione di determinati punti presi all'interno dell'area archeologica, opportunamente delimitata, si è potuto procedere

all'aggiornamento della Carta Tecnica Regionale Siciliana. Sono stati eliminati dalla tabella degli attributi i campi ritenuti superflui e aggiunti quelli descrizione e hyperlink per foto e documenti. Nel campo descrizione, sono state inserite le informazioni tratte dalla tabella dei codici allegata alla CTR.

Inoltre sono stati tratti e modificati dalla bibliografia antica, i seguenti tematismi:

- Sistema delle comunicazioni
- Elementi divisorii e di sostegno
- Edificato ed altre strutture
- Morfologia
- Vegetazione
- Orografia



Figura 4 – Veduta tridimensionale dell'area di studio.

Riferimenti Bibliografici

Azienda Autonoma Provinciale per l'Incremento Turistico di Palermo, Provincia Regionale di Palermo Assessorato Tutela e Ambiente - Percorsi storici e naturalistici della Valle dello Jato – Collana “Schede di Visita” – Aprile 1999.

Bartier, P. M., Keller, C. P.. Multivariate Interpolation To Incorporate Thematic Surface Data Using Inverse Distance Weighting (Idw). Computers & Geosciences Volume: 22, Issue: 7, August, 1996, pp. 795-799.

Bretschander. Kokalos, studi pubblicati dall'istituto di Storia Antica dell'Università degli Studi di Palermo. Hans Peter Insler, Iatias: scavi della Missione Archeologica monte Jato dell'Università di Zurigo 1973 – 1976 – XXII-XXIII - Tomo II 2, atti del IV congresso internazionale di studi sulla Sicilia Antica, Roma.

Grimaldi, R.. La Cartografia E I Sistemi Informativi Per Il Governo Del Territorio. Franco Angeli Editore. (1888)

Hans Peter Insler, Separatum Aus – Grabugen Auf Dem Monte Jato Im Herbst - 2007, Und Im Jahr 2008 - Antike Kunst 52. Jahrgang, 2009.

Isler H. P. 2003, Monte Iato: scavi 1998-2000, in Atti delle Quarte Giornate Internazionali di Studi sull'Area Elima (Erice, 1-4 dic. 2000), Gibellina-Pisa, pp. 827-838.

Isler H. P. – Spatafora F. 2004. Monte Iato. Guida breve, Palermo 2004.

48. Jahrgang, 2005.

Umanitaria: la nuova Storia guidata dalla Geomatica alla ricerca del valore da proteggere e proiettare per la difesa del pianeta

Mauro M. Langfelder (*), Ezio Arlati (**)

(*) IAI Italia, Dip.BEST, dispacci PDM, Via Piatti 11, 20123 Milano

Tel. 335 6278046, langfelder@tiscalinet.it

(**) Dip.BEST, Politecnico, p.le Leonardo da Vinci 32, Milano, 338 5330331, ezio.arlati@polimi.it

Riassunto

Ripercorsi i passi della storia dell'uomo, rinavigando spazialmente sui cammini che più hanno contribuito a costruirla, può essere il servizio meglio prestante all'archeologia, scienza di monumenti scavi e reperti, di ricerca e di civiltà.

L'Umanitaria così proposta come la nuova Storia, può sistematizzare uno studio organico anche per l'Europa (preromana, romana e futura). La Geomatica umana, rifiutata dall'intemperanza su Pompei, può accompagnarci nei viaggi di Marco Polo, anche solo nel nodo caucasico fra la sua andata verso il periplo dell'Asia ed il ritorno, fra terre di latitudine "italiana", così come nel percorso dei grandi corridoi europei, e dell'E24 in particolare, che alla partenza guarda la Britannia dei Romani.

E la riproposizione di alcuni musei italiani negletti può assisterci. Millenni di storia possono così rivivere senza enfasi di date e battaglia, e ricordare che abbiamo avuto il mondo in prestito dai nostri discendenti ... e potremmo cominciare ad insegnarlo in modo innovativo, in coerenza con la Telecondotta. La coerenza didattica con la Naturalistica ed alcune ricerche universitarie correnti completano un'azione educativa che anche le brevi presentazioni diffuse di Colorno possono contribuire a discutere ed approfondire.

Il paper vuole anche essere, dopo Corila a Venezia, una verifica di completamento della copertura complessiva delle quindici classi di emergenze planetarie degli scienziati di Erice, nel ricordo di Anchise il tumultato.

Humanitarian: the new History driver by Geomatics in the search of the value to be protected and projected for the defence of the planet.

Abstract

The passing throughout man's history, by the special navigation or the rerunning paths which have mostly contributed to its construction, may be a performing exhibiting to archaeology, the science of monuments, excavations and finds, of searches and civilisation.

Humanitarian, so proposed as the innovation of History, may settle an organic study for Europe as well, as pre-roman, roman, future. The human Geomatics, rejected by intemperance at Pompei excavations, may accompany us in Marco Polo journeys, may be only in the passing of its Caucasian knot, when moving on and coming back to China and Asia, at Italian-like latitudes; as well as through European corridors and E24 between Genoa and Rotterdam, from where it looks towards roman Britannia.

And the re-proposition of some neglected Italian museums may assist us. Some historic millennia may so relive without any emphasis on dates and battles, just to remind that we have had the world as a warrant from our sons ...and we may start to teach it in an innovative way, coherently with the Teleconduct. The didactic coherence with the Naturalistics and some current university searches

complete an educational action which may be supported and started by the short diffused presentations at Colorno as to 2011 ASITA.

This paper aims also at being, after Corila presentation by Venice, a verification of the completeness of the overall coverage of the Erice fifteen planetary emergencies, in the remembrance of Anchise burial.

1. La Geomatica al servizio dall'archeologia rilancia Naturalistica ed Umanitaria integrate

Se la paleontologia si dedica allo studio dei fossili, mentre l'archeologia a ciò che è primitivo per ricostruirlo nel tempo; e se i fossili si concentrano sugli animali che hanno preceduto l'uomo sulla terra, lasciando alla paleobotanica quello delle piante ... non è sempre immediata e stabile ogni datazione ... Ma cogliendo l'occasione di poterne disputare in casa di tutti coloro che (oggi possiamo dirlo) professano la geomatica, come disciplina accorpante topografia, cartografia fotogrammetria, sistemi territoriali ... ormai nel 2011, possiamo cercare di riordinare alcuni punti fermi, come premessa per essere compresi.

I reperti più antichi di animali, tipicamente rettili, ormai ci portano ad oltre trecento milioni di anni addietro, e si sovrappongono a quelli terrestri e marini La comparsa del nostro primo predecessore ci porta invece ad appena 4 milioni, poi l'*homo habilis* (2 milioni), l'*erectus* (1 milione) ed il *sapiens* (tra 100.000 e 10.000 anni) E parallelamente la scatola cranica (un parametro discutibile ma noto) sale di circa il 320% ... nell'uomo *sapiens* moderno di Cro-Magnon, dando fine a pleistocene e paleolitico superiori per arrivare ad olocene e mesolitico.

Ma se intendiamo ancorare la nostra Umanitaria alla storia della civiltà dell'uomo dalla creazione dobbiamo concretamente partire da poche migliaia di anni fa. E si pone il problema della fasatura della creazione, cioè della vita di Adamo ed Eva, con rigore che lasciamo al mistero, ma riporta a 4000 anni fa appena...

E per qualcuno credente, attento e curioso, si pone anche il problema della sepoltura, o meglio quello del rapporto fra corpo ed anima, e del destino di coloro che (uomini od ominidi) sono morti prima di Adamo, che possa essere qualcosa di diverso da ciò che possa essere al più il limbo

Tutto ciò per dire che il nostro modello didattico che vede la Naturalistica (evoluzione delle scienze naturali) e l'Umanitaria (evoluzione della storia, sfrondata da guerre ma ancorata alla civiltà) tendere a fasarsi con ciò che consideriamo paleontologia ed **archeologia** rispettivamente. Il primitivo dell'archeologia dunque viene riferito all'uomo ed al suo vivere nel creato, mentre la paleontologia risale infinitamente più addietro nel tempo, e non viene per noi, qui in questo *paper* a far parte della nostra storia dell'umanità, professata dall'**umanitaria**.

Tuttavia, appena ciò si presenterà possibile o compatibile, verificheremo l'assunto che qui esprimiamo per separare le due epoche (paleontologica e archeologica) con un evento che sta particolarmente a cuore a chi professa una religione, ed in particolare (ma non solo) quella cattolica con il mistero della creazione.

Cogliamo puntualmente qui l'occasione per sciogliere questo mistero asserendo che è appunto la creazione dell'uomo, cioè di Adamo ed Eva, a separare la paleontologia, che pur comprende anche gli sviluppi antropologici di quella che definiamo la specie umana, dall'archeologia che invece tende ad accompagnare l'uomo appunto dalla sua creazione come comparsa sulla terra.

2. Ricostruzione di reperti: scheletri animali, monumenti nell'ambiente e nel paesaggio

In questo articolo, limitato all'uomo, non toccheremo la ricostruzione dei reperti di animali, perché paleontologia, né degli uomini primitivi, come sopra accennato, perché ci limitiamo a risalire ai patriarchi e ad Adamo.

Però la distinzione, che potrebbe essere netta, ci fa subito dire che gli strumenti di software (che andremo anche eventualmente proponendo, passo a passo, in vari *paper*) possono ben essere gli stessi: i frammenti di ossa o di uno scheletro di dinosauro possono essere trattati come i frammenti di una colonna di un tempio antico, per essere assemblati a comporre indifferentemente un animale preistorico od un tempio antico. E così il paesaggio potrà essere rappresentato allo stesso modo.

Ben diverso invece è il modo di rappresentare gli animali nel loro habitat ed analogamente l'uomo, ma ignoreremo entrambi in questi *paper*, perché fuori dai criteri di modellazione e di animazione che qui non intendiamo considerare.

Naturalmente ci riserviamo di trattarne ed esporli in altre circostanze, ma comunque in modo nettamente differenziato sia come modelli che come animazione. In fondo tutto è riconducibile al dilemma, per ora irrisolto ma affrontabile in specifiche pubblicazioni sull'uomo paleo-antropico e sull'uomo della creazione.

3. L'archeologia spalanca periodi millenari di vita e di ricerca controllata

Una recente decisione dell'Unesco (estate 2011) ci induce a varie riflessioni su un periodo di storia medioevale italiana, quando i Longobardi per circa due secoli fra la fine del VI e quella dell'VIII secolo, percorrendo la via cui diedero il nome, occuparono buona parte dell'Italia dal Settentrione attraverso la Toscana e fino una gran parte dell'area interna dell'Italia meridionale (in Campania, Puglia, Lucania e Calabria). Attraverso una nuova prassi, definita seriale ben otto località sulla ***via Langobardorum*** sono divenute patrimonio dell'umanità; percorriamole: Cividale del Friuli, Castelseprio e Gornate Olona nel Varesotto, Brescia col monastero di Santa Giulia; poi in provincia di Perugia: Campiello sul Clitumno e Spoleto, infine Benevento e nel foggiano San Michele sul Gargano. Sorprende l'esclusione di Pavia, che fu di fatto la loro capitale in Italia; o Monza, non solo per l'eccellenza della corona ferrea nel suo mirabile Duomo

L'avvenimento, intrinsecamente interessante e suggestivo per una più equilibrata visione storiografica quindi umanitaria per la storia dell'Italia (e dei Celti nell'Insubria) ci ha fatto proporre l'evento ad Ostenda per CoastGIS a supporto di un allargamento seriale del Golfo dei Poeti a patrimonio dell'umanità presso l'Unesco che dalle Cinque Terre, da Portovenere e dalle sue isole, si allarghi al Forte di San Terenzo, al Castello di Lerici ed al Borgo di Tellaro. E quel paper, pienamente accettato, forse non apparirà negli atti formali, per la nostra assenza fisica in sede di presentazione all'inizio di settembre. Appare difficile pensare che la Commissione Oceanografica Intergovernamentale (il cosiddetto IOC dell'Unesco) possa esserne sfiorato.

Certamente lo spostarsi della costa marina nel golfo sottostante il castello di **Lerici**, ed il museo paleontologico che nel maniero è ospitato, sono temi che fanno penetrare le centinaia di milioni di anni nel nostro passato marinaro ... Se ne potrà riparlare in un prossimo CoastGIS

Ora il problema potrebbe anche essere quello di fare rete di reti fra la competenza e la realtà paleontologica, ancorata alla storia e portata a fare da contorno all'archeologia ambientata nei luoghi della sua storia convissuta. E consideriamo tre esempi se non punti di riferimento.

La storia longobarda ci viene proposta dall'Unesco, che fa patrimonio seriale dell'umanità la *via langobardorum* attraverso otto luoghi distribuiti accuratamente sulla penisola, e che potrebbero essere coagulati, se non coalizzati da Monza e/o Pavia, città lombarde di un Teodolinda e corona ferrea e della capitale proclamata. Quindi anche i musei dell'Insubria che esprimono il meglio della paleontologia, ed è ancora l'Unesco del **Monte San Giorgio** ad averlo proclamato e rafforzato con il doppio riconoscimento dei due versanti. Ed il gruppo del museo di Lerici ...

Dall'Elba tedesco al Basento lucano, per accompagnare la storia longobarda come precedente quella insubrica attraverso i Celti E profittando di Ostenda per riflettere sulla E24 Genova Rotterdam quiescente Pensare alla Venezia di Corila per avere fatto la storia della navigazione intorno al mondo, ma anche il traffico via terra ai margini della Roma imperiale ... pensare al degrado di Pompei come museo e laboratorio abbandonato

L'osservazione satellitare sopra quello spazio aereo monitorato dalla *Deutsche FlugSicherung*, assistita dalla Contact software lo rammenta ulteriormente. Mentre la PANGEA di Lerici (con Pisa, Rovereto, Torino ...) suggerisce un'altra rete prestigiosa Questa con il Ceresio ed i Longobardi possono darci una base per una rete che porti la paleontologia laddove l'archeologia (quindi l'umanitaria) intende servirsene.

4. Il controllo per tutto il ciclo di vita del reperto: dagli scavi ai musei virtuali e reali

Un concetto che accompagna lo studio dei modelli archeologici e quello degli altri prodotti di base, studiati partendo da quelli che qui definiamo industriali, perché derivanti dalla fabbricazione fatta dall'uomo, è quello di ciclo di vita del prodotto. Dalla genesi, ideazione o concezione, alla nascita o generazione o fabbricazione, attraverso lo sviluppo della crescita fino all'esaurimento o morte, pur attraverso ogni assistenza (sanitaria o di manutenzione), ma anche attraverso il restauro che può riguardare monumenti o opere, ma pure l'uomo attraverso i trapianti di organi o le protesi della più varia natura, che fanno pensare anche ai robot con tutti gli aspetti correlati della gestione di ricambi o della sostituzione di parti ...

Tale storia può naturalmente riguardare anche la simulazione di opere future ...

In questa costruzione, e guardando alla storia dell'archeologia, assume particolare rilievo anche l'aspetto espositivo, cioè la presentazione in musei. E qui dobbiamo subito rimarcare come questi possano essere fisici, ma anche virtuali, quindi messi in rete per arricchire e correlare i riferimenti. La tendenza a presentazioni virtuali oggi, soprattutto in questa sede, deve essere vista anche come la tendenza a sostituire le copie fisiche riprodotte (così frequenti oggi) con quelle virtuali, proiettate in remoto e assistite dalla telecondotta, oggetto, qui a Colorno, di un *paper* circostanziato e compiuto.

Nell'articolo o *paper* presentato per l'inquadramento (e la nuova denominazione, di **telecondotta** appunto) si fa riferimento a quello che potremmo definire come il **tetraedro** delle quattro discipline, ponendo al vertice superiore la **geomatica**; ovvero anche come il **triangolo equilatero** delle tre discipline (ancora geomatica, naturalistica ed umanitaria) ponendovi al centro la telecondotta: ed entrambe le rappresentazioni vengono qui consegnate alla riflessione ed alle decisioni di competenza, partendo dall'AICA stessa.

Ed a proposito di **umanitaria** come disciplina sostitutiva della storia come materia, ci piacerebbe dilungarci su ciclo di vita, ricambio generazionale, restituzione alle future generazioni del prestito ricevuto anche per meglio simulare la costruzione del futuro.

5. Connessione delle ricerche in rete: economia e cultura si esaltano

I modelli virtuali, la loro presentazione in musei virtuali, ogni ricerca e coordinamento pertinente possono essere connessi in rete, tanto più e meglio in quanto regolate (standard di modellazione e di trasmissione, protezione dei diritti, correzione linguistica,.....) e le reti omogenee possono essere ulteriormente connesse in reti di reti. Il concetto è quello definito come reti associate (o consortili) per dare una traduzione corretta al **social network** della letteratura pertinente. Un esempio che si viene costruendo riguarda la paleontologia (vedere il *paper* sulla **naturalistica**) dove il museo di Lerici, capofila del gruppo definito PANGEA, tende ad associarsi a quello insubrico correlato all'ormai mitico Monte San Giorgio, al confine italo-svizzero prominente sul lago Ceresio. Le ricerche rispettive, accuratamente riferite a contesti universitari prestigiosi, determinano reperti che sono di proprietà dello Stato, e campeggiano nei rispettivi musei locali, vicini ai cittadini ed ai turisti, aperti a giovani e giovanissimi, ma anche ben attrezzabili per una formazione remota intercambiabile. E le ricerche comuni, di fatto già estese anche a livello intercontinentale, portano ad ambienti originari che erano morfologicamente identici, ed addirittura confinanti, quindi sovrapponibili. La Patagonia e la Cina ne sono le rispettive testimonianze.

Così paleontologia e naturalistica preparano l'ambiente che avrebbe molto, molto tempo dopo preparato la vita dell'uomo sulla terra in fauna e flora preparate e compatibili.

I vantaggi economici, pur consistenti, della museistica virtuale si esaltano con la trasmissione e distribuzione di una cultura ricca e diversificata, che può raggiungere la **scuola** di tutti, in coerenza con gli stimoli e le realizzazioni che l'AICA sa fare magistralmente in Italia; ma anche coordinare con l'IFIP a livello internazionale.

6. L'esperienza informatica per la ricostruzione dei modelli: DMU, BIM, GIS

Anche nelle più accese dispute all'interno del Capitolo Italiano di IAI nessuno pensava che il ciclo di vita del fabbricato avrebbe portato le applicazioni nel cuore del tempio antico. Sì, era capitato di ricostruire qualche modellino per esposizioni, per l'esplosione della distinta base e studiare la tecnica di edificazione ... Ma ora che i modelli e le tecnologie ci sono, e sono eccellenti nelle prestazioni, perché non avvalersene? E per di più sfruttando tutti e tre i modelli di base, e la professata **interoperabilità**.

Il modello del componente con la tecnologia del prodotto industriale; ad esempio il capitello corinzio dai frammenti che sono caduti, quasi fossero la progettazione di un cruscotto d'autovettura, o la copertura di un accesso ad un padiglione il **DMU**, o *digital mock-up*, o il suo affinamento del FMU, visto in logica funzionale.

Ovvero il *Building Information Modeling* il **BIM** dell'edificio, la conquista intercontinentale sofferta del fabbricato eretto a standard riconosciuto. Assemblare il tempio antico, ancora dai frammenti, ma in coerenza con le colonne o le parti che avevano già utilizzato (quasi prodotto) quella minima scaglia marmorea, chissà, magari riutilizzabile in mille modi, quasi come un bullone o una rondella.

Infine il terzo livello della storia dell'interoperabilità (per la verità nato come secondo) cioè il modello urbanistico della città intorno al tempio ... con il grande vantaggio che le fondazioni potevano essere rimaste inalterate, a fare da base per tutta la ricostruzione. L'acropoli, addirittura la città stato, se vogliamo restare nella Grecia antica. Il **GIS** o SIT di casa ad ASITA.

E allora torna alla cronaca che si fa storia, liberandosi dall'inquinamento culturale, degli scavi di **Pompei**, forse il patrimonio più ricco, complesso, sontuoso di una ricostruzione che dovrebbe essere accompagnata per tutto il suo restauro, come fase brillante del suo plurimillenario ciclo di vita, ben difficile da cantierare, ma assai interessante da monitorare subito per raccogliere la sequenza infinita dei suoi crolli progressivi, del suo continuo processo scomposizione e ricomposizione ... accompagnato da continue decisioni altamente professionali. Difficilmente possiamo pensare ad un laboratorio così intensamente ricco, anche se sono centinaia i borghi da riqualificare o siti che invocano la tecnologia a partire dalla Valle dei Templi agrigentini, visto che di templi o tempi abbiamo inteso accennare.

7. Le classi della difesa nel sillabo di Erice: dalla cattedra al cantiere

Ma il tempio era luogo di preghiera di meditazione, poi magari di sepoltura Mentre l'archeologia ci vorrebbe portare all'habitat della quotidianità del vivere della cellula familiare attraverso i travagli della sua storia, e le disparità degli stili, coerenti con il benessere ...

Torniamo ad Erice nel nome del sillabo, ma anche per risalire all'incipit della nostra storia millenaria, quando Enea, muovendo da Cartagine verso il Lazio per avviare la fondazione di Roma si trovò ad aggirare la Sicilia da occidente, proprio nei giorni in cui suo padre Anchise morì. Ed il mare sottostante Erice fu il luogo di attracco per la sua sepoltura Ricordiamo incidentalmente qui che una delle ipotesi delle origini e degli sviluppi di **Lerici**, è legata (*Ericis Sinus*) a quanto avveniva nel Golfo dei Poeti sin dai tempi degli Etruschi per un intenso commercio; come ci ricorda la geografia di Claudio Tolomeo nel II secolo dopo Cristo. Pur insieme alle altre possibili derivazioni, anche etimologiche, legate al leccio che domina la conca e si ritrova nello stemma comunale.

Riportiamoci al gruppo delle emergenze di **Erice**, accorpante quelle della **difesa** nel cosiddetto **sillabo** (fig. 1) nel modo comune agli altri *paper*, partendo da quelle della salute: le malattie infettive (la dodicesima classe) ed i trapianti di organi (l'undicesima). Basterebbe pensare all'aids per capire il lavoro enorme da fare, pur avviato nella dimensione dell'emergenza nel senso migliore del termine. Mentre il trapianto di organi appare profondamente turbato dal triste mercato che se ne fa asportandoli dai paesi in via di sviluppo in modo disumano (anche con il concorso di enormi paesi emersi ...) per venderli a caro prezzo nei paesi benestanti (emersi appunto).

DIFESA SANITARIA E MILITARE

MINACCE MILITARI MULTIPOLARI (9ª classe)
DIFESA OGGETTI COSMICI (14ª classe)
INVESTIMENTI MILITARI (15ª classe)
SOSTITUZIONE DI ORGANI (11ª classe)
MALATTIE INFETTIVE (aids, ...) (12ª classe)

LE CLASSI DEGLI SCIENZIATI DI ERICE

Figura 1 – Le emergenze della difesa e l'Umanitaria del sillabo.

E allora viene spontaneo pensare a quanto si spende (ed ancor più si spendeva prima della Caduta del Muro di Berlino) per proteggersi dalle minacce militari, multipolari per ben configurare la realtà del mondo contemporaneo (nona classe) e per i perduranti investimenti militari (ultima delle quindici classi). Ed allora è spontaneo pensare a quanto potrebbe risparmiarsi in un mondo di pace per investire nella salute degli indigenti. Poco da dire sugli oggetti cosmici (con UFO) se non che le atomiche che ne fecero la storia peggiore potrebbero essere impiegate per bombardare gli UFO cadenti e distruggerli riducendone gli impatti ... sono forse cose da fantascienza, ma c'è anche chi ci studia.

E mentre qualcuno pensa ai problemi, diciamo pompeiani, di come partire congiuntamente dalla cattedra della competenza autorevolmente condivisa e dal cantiere monitorato da pari competenza assistita e controllata attraverso un **volontariato** riconosciuto ed eccellente, il pensiero torna alla storia di Roma, ad Enea e ad Anchise. Quella costa sotto Erice, quell'amore locale vissuto al punto da scrivere una traduzione dell'Eneide in siciliano, quell'osservazione satellitare per portare a tutti la storia di Erice e delle sue emergenze, ci fa ricordare ancora Venezia e Milano. Perché il cardinale Angelo Scola torna nella sua Lombardia e certamente monitorerà l'evento dell'Expo 2015 con il suo attaccamento alla diocesi: ha appena lasciato la grande e varia comunità di Aquileia, cui da Venezia inviava attraverso il suo organo di stampa un messaggio tradotto in tutte le lingue o dialetti diocesani: friulano, croato, ... forse sette per arrivare direttamente a tutti parrocchiani ... Dalla costa di Erice e dai suoi dialetti le storie parallele dell'Italia insubrica e longobarda, veneziana delle repubbliche marinare, per fare storia con l'umanitaria e per comunicare in attesa di un altro **CoastGIS** da Corila ...

L'interoperabilità dei sensori a più livelli di monitoraggio Dei processi satellitari

Mauro M. Langfelder (*), Ezio Arlati (**), Silvio Giancaspro (***)

(*) IAI Italia, Dip.BEST, dispacci PDM, Via Piatti 11, 20123 Milano, Tel. 335 6278046, langfelder@tiscalinet.it

(**) Dip.BEST, Politecnico, p.le Leonardo da Vinci 32, Milano, 338 5330331, ezio.arlati@polimi.it

(***) Contact Software srl, Via Carriona 201, 54033 Carrara (MS), 0585 281338, giancaspro@contact-software.com

Riassunto

L'articolo inizia con un inquadramento generale ed attuale dei sensori, cioè della topologia (riferita ai *Wireless Sensor Network* o WSN) vista in una logica di monitoraggio attraverso il tracciamento seguendo l'architettura della rete, le tecniche adottate, i tipi di sensori e gli obiettivi del monitoraggio in funzione del numero di oggetti controllati e delle tecnologie applicate. L'articolazione è vista a più livelli: opera, urbe, area, nazione, *earth*.... Vengono poi riferiti alcuni esempi o modelli, applicati per involucri edilizi (con attenzione particolare ai problemi energetici) del dipartimento BEST del Politecnico di Milano, altri esempi di monitoraggio aereo sviluppati in Europa per il controllo del traffico aereo in Germania (DFS), allargati a quello dei cantieri (galleria del Gottardo, ferrovie a tramvie urbane, ...). Tenendo conto delle osservazioni esposte da diversi relatori alla conferenza di Corila nella Venezia di Marco Polo, sfiorati anche da un *paper* proposto ad Ostenda per CoastGIS 2011, ed attenti agli standard IFG di IAI Internazionale, l'articolo evidenzia alcuni problemi e traccia alcune possibili soluzioni applicabili per il controllo del traffico prevedibile intorno alla grande Milano in occasione dell'incremento del traffico prevedibile per la preparazione e lo svolgimento di Expo 2015. I cantieri aperti, la dimensione globale della partecipazione auspicata (internazionale e regionale), l'allestimento dei padiglioni ed il completamento delle opere idrauliche, la collocazione fisica della rassegna, le manifestazioni collaterali che molti auspicano, l'auspicabile eventualità di lasciare anche una traccia dopo il compimento della ventura ... pretendono soluzioni di lungimirante monitoraggio tracciate nel *paper*.

The sensors interoperability at a multilevel monitoring for satellite processing.

Abstract

The paper begins with a general and actual frame of sensors, that is of their technology (referable to Wireless Sensor Network or WSN) in order to situate it within the monitoring logics for general traffic tracking, following the network architecture, the adopted techniques, the types of sensors and the monitoring objectives, as a function of the number of objects to be controlled and applied technologies. The joint articulation is seen at various levels: work or knot, quarter or city, urban area, nation, earth, ... Some examples are then referred as models applied building wrapping or cover (with specific attention to energy problems) perfected by BEST department of Milan Polytechnic; other monitoring perfected in Europe as to aerial traffic control, such the German one (DFS), enlarged to their building yards (Gotthard Swiss gallery; rail and urban tramways;...). Considering with a special attention all observation exposed at 2011 Corila Venice Conference by many a speaker; as well as a paper presented at Oostende by 2011 CoastGIS, and giving a special attention to the IFC standards for GIS by International Alliance for Interoperability, the paper evidences some problems and tracks some solutions applicable for the traffic overall control over the Great Milan as will likely happen for the augmented circulation occurring for preparation and

complying of EXPO 2015. Open yards, the auspicious participation (international and regional), the edification of pavilions, the accomplishment of hydraulic working, the physical location of the event, the collateral likely happenings, the auspices eventuality to leave a trace even after the end of the venture finishing ...all pretend a long-sighting view and planning which is explored in the paper.

1. Di conferenza ASITA in conferenza ASITA verso la grande Milano

Ad ASITA 2008 a l'Aquila presso la sontuosa caserma della Guardia di Finanza, così diversa dai fatiscanti alloggi condominiali per gli universitari locali, crollati col terremoto dell'anno successivo, ci fu una presentazione in area poster inerente i problemi del traffico intorno alla grande Milano rappresentati attraverso l'evidenza grafica della rete, tema che proprio in questi giorni viene dibattuto nel contesto dell'IFAC (*International Federation of Automatic Control*) in svolgimento a Milano, come appuntamento topico triennale; e centrato anche sulla logistica.

E fu, fra i vari pronunciamenti svoltisi in quella sede in forma di impegnata premonizione, quello forse di maggior successo. Ma di fatto non vi furono in quegli anni conferenze nazionali di ASITA nelle quali, sia attraverso presentazioni istituzionali (per lo più in area poster) che approfondimenti fra colleghi o presso gli stand, civili o militari, cartografici o topografici, relativi ai SIT o GIS, formali o informali, ..., il problema non sia stato adeguatamente affrontato.

Ad ASITA 2009 a Bari, per esempio, sull'onda del dibattito dell'anno precedente, ma anche prima del 2008, così come dopo, nella stessa Brescia del 2010, il problema fu assai dibattuto, anche *extra-moenia*. Ed erano oltre una ventina gli enti pubblici locali coinvolti al più vario titolo, e presenti pur nella ben diversa propinquità dei luoghi.

Erano soprattutto due gli indirizzi di approfondimento perseguiti: la complessa numerosità degli enti, soprattutto pubblici, coinvolti nel disegno, e le imprese proponenti possibili soluzioni di geografia territoriale e di informatica non solo grafica, interessate, quindi da cercare di coinvolgere. Semmai oggi, 2011, il problema si è ulteriormente complicato: nel passaggio da Brescia a Colorno; questo *paper* in particolare sconta la transizione da una presentazione tradizionale in area *poster* ad una cosiddetta *diffusa*, cioè irradiata in dieci brevi minuti ai visitatori richiedenti attraverso tre *slides* ancora in fase di completamento (per la successiva formalizzazione) ma comunque sin d'ora assai attentamente considerate: introduzione, figura focale, conclusione.

Ma poiché per la prima volta i presentatori del *paper* si ritrovano anche ad essere gli espositori di uno stand condiviso, dove una lavagna luminosa integrerà le autopresentazioni e quindi *de facto* anche i *paper*, la complessità si esalta: anche se il **frazionamento** del tempo fra i condividenti lo stand in consorzio sarà lucidamente di una mezza giornata calendarizzata pro capite

Ci auguriamo che questo frazionamento concorra a mitigare i conflitti che la deliberata mancanza di un'altra disciplina regolamentare, impedita dalla diversa natura dei consorziati nello **stand 12** naturalmente determina. Confidiamo anche che una presenza continua di coordinamento possa sopperire nell'assistenza a tutti gli interessati in un punto angolare di incrocio fra i corridoi dei percorsi ed il transito nella **Reggia**. Il progetto esecutivo, che solo a settembre emergerà a disciplinare gli spazi della comune presenza che si è completato, per motivi oggettivi, solo attraverso l'estate, siamo tuttavia piuttosto convinti che potrà soddisfare tutti.

Questo *paper* che interseca la presenza rigida del mondo organizzato del **software** internazionale con quella del sistema **universitario** impegnato nell'ambientazione degli Azeri dello stand allargato alla dimensione di una micro-aula, è sembrato la sede meno inopportuna per parlarne in questa sorta di preambolo introduttivo.

Siamo peraltro ben coscienti che la difficile regia degli sviluppi posteriori delle mezze giornate, strutturate in *short exhibiting* in un luogo ambientato ad hoc, lascerà problemi aperti (che cercheremo di comporre) e porrà quesiti (cui cercheremo di rispondere prontamente).

Ritorniamo così al tema strutturale dell'articolo.

2. Copertura dei sensori ed interoperabilità

Per ancorarci a sensori esistenti, e facilitare la comprensione di lettori e fruitori, inizieremo qui con rilevazioni che forniscono **strumenti** operativi nel quotidiano di una complessa rilevazione del traffico. Faremo poi un breve riferimento organico, teorico e metodologico, alle tecnologie di trattamento esistenti nelle cosiddette **Wireless Sensor Networks**. Quindi evidenzieremo delle **direttrici** di possibile sviluppo applicativo per guidare il processo satellitare di monitoraggio complessivo, riferendoci ad applicazioni che potrebbero fruire del lavoro dei gruppi di lavoro **Nereus** sull'osservazione della terra (il GMES) e la navigazione satellitare (il GNSS).

Strumenti operativi nella città di Milano sono quelli legati all'**Ecopass** per controllare l'accesso al centro urbano a mezzo di telecamere, giungendo fino alla cattura della targa della data. L'esperienza così acquisita dalla città potrebbe essere allargata fuori del centro, almeno nelle direzioni interessate dai flussi correlati all'Expo (compreso il sistema regolamentare degli aeroporti), anche in forma semplificata e ridotta, ma assistita nel suo governo urbano complessivo.

Analogamente per la **rete autostradale** circostante Milano esistono dei rilevatori dei dati sugli accessi, completi o in via di completamento collocati a circa 10 km di distanza uno dall'altro. Il completamento, l'intensificazione nelle zone critiche, l'eventuale integrazione con i dati rilevabili ai caselli autostradali, potrebbero completare questa seconda fonte, ben collaudata, di dati veicolari di flusso nella complessità del nodo intorno alle tangenziali.

Un utilizzo di dati dei sistemi **GPS** di automobili dotate potrebbe determinare un campionamento organico di competenze certe, fruibile per un monitoraggio il più capillare possibile. Pur non omettendo una promettente forma di volontariato, assistito dal buon supporto di ordini professionali, organizzazioni di categoria interessate (reti di trasporto privato, albergatori, negozianti, ...) potrebbe esserci il riferimento esteso alle reti di pubblico **trasporto**, ovvero l'organizzazione di tassisti esperti ed autonoleggiatori qualificati.

Infine potrebbe essere eventualmente fruibile la collaborazione di varie altre entità, tipicamente della **polizia** e dei suoi multiformi rilevamenti.

Naturalmente, come vedremo più sotto rimane il problema della proprietà dei dati utilizzati; e più in generale quello della direzione complessiva della gestione (e ci stiamo avviando verso le direttrici di sviluppo).

In termini propedeutici per coloro che intendono approfondire le problematiche generali dei sensori, riprendendo il riferimento alle loro reti **WSN** (ed alla bibliografia riferita) e considerando che si dovranno comunque affrontare i problemi connessi con reti di reti, certamente a più livelli e diverse articolazioni a complemento e completamento di quanto anticipato, ne accenniamo alcune linee di indirizzo: l'architettura di rete potrà essere di tipo a grappolo (statica e dinamica), oppure decentrata senza rete, più frequentemente ad albero ...

Nel riferimento all'algoritmo che qualifica i sensori dovremo forse considerare anche quelli cosiddetti dormienti, distinguere gli ordinari da quelli binari ed applicarli a canali di scorrimento del traffico assistiti da sensori di velocità, distanza, direzione (con la freccia per l'automezzo: destra e sinistra) e garantirne l'interoperabilità nell'ambito del progetto complessivo, considerando anche il concetto, caro anche agli urbanisti, di involucro edilizio, e la possibilità di misura del flusso del traffico in una logica di prezzo per il cittadino (con riferimento per esempio all'inquinamento, o al carattere sismico della zona o antisismico dei fabbricati) ... anche in funzione dei vari livelli di monitoraggio, dall'opera al satellite.

Su queste stesse direttrici di sviluppo del progetto pensiamo di far convergere professionisti, società di software ed università in un possibile gruppo di lavoro del **Nereus**, per fruire anche degli eventuali benefici dell'Europa, direttamente od indirettamente: l'osservazione della terra (GMES) e navigazione satellitare (GNSS) potrebbero forse far convergere altre risorse sia da parte della **competenza** interprofessionale che di tipo **finanziario**, se non altro come sponsor o co-sponsor.

3. Assunzione e condivisioni di responsabilità: il possesso dei dati

Il primo problema che ci si potrebbe porre partendo da un punto di vista operativo è la definizione od individuazione di chi sarebbe il **proprietario** dei dati acquisiti ed utilizzati per il progetto di monitoraggio satellitare, che potrebbe anche considerare l'interoperabilità stessa dei sensori. Ed ASITA a Colorno, dove la presenza qualificata di proprietari pubblici e militari dei dati è ricca e qualificata, potrebbe offrire qualche spunto decisionale, ed offrire anche garanzie probanti.

La competenza territoriale della vigilanza urbana della città di Milano potrebbe trovare limitazioni nell'estensione i propri confini, verso Comuni come Rho o Pero, ma anche molti altri nella zona monitorizzabile anche da terra, coprenti i percorsi autostradali, ma forse anche quelli stradali stessi.

Gli anni che ci separano dall'evento del 2015 saranno di apertura di **cantieri** per il completamento di tali vie di accesso, ma anche di edificazione dei **padiglioni** da parte di tutti coloro, Stati esteri o Regioni italiane, che vi parteciperanno istituzionalmente, secondo una disciplina non ancora compiutamente definita, ma in fase di considerazione nell'ambito del progetto generale. Dunque il problema si fa sempre più complesso in tempi sempre più ristretti, ma reclama pure una risposta.

La **sicurezza** eventualmente richiesta nei propri padiglioni da alcuni degli Stati (43 ad oggi) che li hanno già richiesti, e di quelli che verranno, è da considerare, mentre l'obiettivo progettuale punta a non molto sotto i 200 come limite estremo della configurazione mondiale, pur considerandone anche accorpamenti tra nazioni, e lotti comuni o *cluster*.

Quindi si presenta anche il modello di **cantiere** (se questo apparisse generale e tale da essere portato in premessa, si potrebbe discuterne ed agire di conseguenza) come prototipo di scavi in superficie e sotterranei, suscettibili di monitoraggio aereo o satellitare, con particolare riferimento a fasi codificate del ciclo di vita edilizio, ricorrendo ad esempi specifici convissuti dagli autori del testo. Un particolare riferimento, attuale e puntuale (sia a Corila che a ProSTEP per il 2011) considererebbe la domanda e la potenziale risposta di **standard**, accreditati e praticabili, sull'informazione territoriale gestita dalla geomatica di oggi.

Il decisore del disegno di sviluppo, ed ancor prima l'ente preposto all'Expo 2015 ai fini del progetto viario di accesso e dell'eventuale sistema di monitoraggio qui considerato, dovrà ovviamente decidere se e come coprire i percorsi, informandone ogni cittadino o utente interessato, direttamente od indirettamente. Il problema quindi ritorna a monte e ne sono coinvolti: Regione Lombardia, province di Milano e Monza, Comune di Milano, Camera di Commercio, insieme a tutti gli **enti** preposti a più specifici problemi; ma altrettanto lo sono quelle organizzazioni di **imprenditori** che dovrebbero ancor più direttamente sensibilizzarsi per la risoluzione di un problema doppiamente nodale ...

Altrettanto potrebbero preoccuparsene in ruolo **sussidiario** anche altri enti, perfino culturali, per arrivare a capire se un tale processo può interessare un qualunque sponsor. E qui balza in evidenza il ruolo di tutti coloro che hanno responsabilità o competenza nel settore del software, soprattutto territoriale, perché almeno all'ASITA di Colorno, trovino tempo e spazio per dibatterne. E la parola che traspare come innovativa, ma forse anche probante, è quella di co-sponsor, utile per non disperdere nulla di ciò che possa essere utile. Anche nel pur modesto **volontariato GIS**

4. Il controllo del traffico aereo e viario

Un modello che mentre si procedeva alla stesura dell'*abstract* poteva qualificare il processo di controllo del traffico aereo era il DFS tedesco, che una serie di circostanze inducono a considerare, pur come rilevante, assai meno pregnante per la verifica complessiva dei sensori emergente dagli esempi assunti e dai riferimenti approfonditi nella Germania stessa. Malpensa, Linate ed Orio al Serio dovranno completarsi con scali finitimi ed internazionali, con scali privati, con il traffico stesso degli aerei privati in scali pubblici.

La successione degli aeroporti tedeschi situati sul corridoio europeo 24, definito anche come A, quindi lungo il percorso Rotterdam-Genova, più attentamente considerato in vista di **CoastGIS 2011** ad Ostenda, sono: Maastricht, Aachen, Dusseldorf, Colonia, Bonn, Baden Baden, Saarbrücken, Basilea, Stoccarda. Tuttavia, pur considerando il problema aereo come pregnante,

potrebbe essere soltanto di più diretta, e specifica, forse esclusiva, competenza dell'ente italiano preposto (ENAV), mentre rimarrebbe prioritario e primario quanto anticipato al capitolo (o sezione) 1, che pure considera il sistema aeroportuale per l'ovvio ulteriore flusso dei passeggeri atterrati.

Quindi assumono invece un ruolo particolarmente rilevante i sistemi di traffico terrestre viario, con i mezzi di trasporto pubblico, di superficie e (pur con i cantieri forse ancora aperti) di profondità. Come andremo ad approfondire alla nostra sezione 7 (pur essendo essa stessa anche fornitore della DFS) riveste un particolare interesse l'esperienza maturata dalla Contact Software tedesca (che ha recentemente aperto una sede italiana a Carrara) perchè correlata, per esempio, alla Galleria svizzera del **Gottardo** con l'evidente interesse al cantiere ed al trasporto dei residui di perforazioni e scavi; ma anche alla tramvia sopraelevata di **Amburgo**; ed a quanto realizzato a **Stoccarda**, sia in merito alla rete fognaria (applicazioni sotterranee) che alla tramvia canonica di superficie. Si tratta di un'esperienza oggettiva e multiforme su prodotti software di eccellenza, e assistenza di servizio qualificata.

Mentre il **cantiere** aperto ci riconduce al ciclo di vita del prodotto edilizio, fondamentale per tutte le attività di manutenzione, restauro, modifica, ... l'esperienza derivante dal Gottardo ci porta alla memoria il famoso tunnel sotto la **Manica** (*Channel Tunnel*) i cui lavori, iniziatisi e condotti in parallelo dai due lati, francese ed inglese, comportavano il reciproco trasporto fuori cantiere dei materiali, cioè delle reciproche terre residuali perforate con escavatrici rotanti, le cui parti logorate furono deliberatamente abbandonate a metà strada

5. La domanda di standard da Corila (Venezia e Ostenda) e la risposta degli enti regolatori

Come è emerso in entrambe le sedi dei più recenti incontri di Corila (appunto la conferenza di Venezia e CoastGIS ad Ostenda) a fronte di una estesa diffusione dell'informazione geografica, ulteriormente dilatata da un volontariato sempre più diffuso internazionalmente e qualificato, constatiamo una sistematica carenza o latitanza di applicazione degli **standard** riconosciuti. Proseguendo quanto fatto in modo organico attraverso i *disparci PDM*, ricordando gli impegni ricorrenti profusi nelle varie ASITA, la partecipazione proattiva alle attività del BEST, alcuni incontri epocali come Stresa 2008 per l'OGC, ... sollecitiamo in questo contesto l'impegno praticato dai vari enti normatori, intorno ed oltre ISO, ed insistito dalla logica professata dell'interoperabilità: il modello del prodotto industriale (DMU o FMU) fruibile e suggerito oggi perfino anche al mondo dell'archeologia; il modello dell'edificio come BIM pure ancora fruibile nella ricostruzione dei templi dell'antichità (addirittura ai confini Atzeri di Agdù) ed ancor più quanto OGC ha saputo fare in termini di GIS, che istituzionalmente si propone come fondante ad Ostenda...

Ma ora il problema si pone in termini sempre più perentori e stringenti per i **tempi** che doppiamente si contraggono: la necessità di regolare le vie d'accesso per tutti coloro che dovranno allestire gli stand espositivi dei padiglioni sul cardo delle Regioni e, ancor più, sul decumano degli Stati nazionali che certamente vorranno ben figurare in un contesto globale. E l'esempio di Shanghai, appena lasciato al mondo con l'Expo 2010, sembra voler essere trascurato da chi ancor oggi discute sul ruolo significativo dell'Expo 2015. Il confronto Cina-Italia sembra non interessare nessuno. Vorremmo qui ancora sottolineare che la rassegna è stata dall'Italia interpretata intorno al problema della **nutrizione** del mondo, che accorpa ancora molte delle emergenze planetarie di **Erice**, e che ci fa anche ricordare il riconoscimento che la dieta mediterranea, intesa anche come modo di stare a tavola, ha avuto proprio dall'Unesco ...

E che ci induce ad un'ulteriormente amara considerazione, mentre ogni rinvio o ritardo indebolisce la muscolatura di coloro che dovranno occuparsene. I servizi, o la loro mancanza per coloro che vivono localmente, sembrano interessare poco le strutture, di accoglienza, di ospitalità, di commercio ... come ricorderemo ancora nella conclusione del nostro *paper*.

Ma perdere un'occasione singolare, soprattutto in un momento di crisi economica globale, vuol dire veramente incapacità di pensare al peso che il ritorno degli **investimenti** può avere in una congiuntura delicata. E certamente duole molto doverlo rammemorare qui, quando la provincia che

ci ospiterà a Colorno, ha molto investito nel restauro della Reggia, del suo sontuoso giardino. E che la Barilla con il suo BCFN ha saputo indicare al mondo

6. Interpretando l'EXPO 2015

I cambiamenti occorsi nell'amministrazione di Milano e conseguentemente nella struttura preposta all'Expo, addirittura la discussione apertasi sull'importanza strategica della manifestazione per la città di Milano inserita nel quadro della crisi economica internazionale, pongono quesiti non secondari per coloro che se ne dovranno occupare responsabilmente. E di riflesso per la concretezza della nostra presentazione. Ci accorgiamo che quanto più si vuole sensibilizzare sul tema le strutture interessate, approfondendo problemi pertinenti, tanto più aumentano e si complicano le problematiche connesse. Sicchè il dibattito di Colorno può essere l'occasione migliore per l'assunzione di **responsabilità** anche per un'ulteriore dissertazione che collochiamo qui.

Pensavamo, e l'abbiamo richiesto, di svolgere nell'ambito del nuovo *format* di ASITA 2011 un **workshop** dedicato a ben preparare Expo 2015 in un contesto più diretto e meglio legato all'istituzione. Ma non essendosi allora ancora maturate le scelte relative allo stand esteso, e la stessa partecipazione del BEST era in dubbio, non eravamo in condizione di esprimere, quindi dichiarare, la composizione complessiva della struttura fondante il workshop.... Sicchè propriamente il comitato scientifico, pur con rammarico, non la poté accettare. Allora questo *paper* è divenuto *de facto* anche uno strumento sussidiario, portando, per così dire, ad un **workshop nello stand**, quasi privato.

50 AICA years, **FA geomatica**, **Contact GIS**, stepping Expo, ... saranno le testate degli incontri ... nello stand. Questa novità ci ha dunque costretto, sommatasi a quanto diffusamente qui descritto, a trasformare questo *paper*, e le presentazioni a mezze giornate, in un qualcosa di sostitutivo, che più che affermare cercasse di inquisire ed interrogarci reciprocamente su come arrivare all'evento Expo 2015 con una possibilità di **monitoraggio** che non sapeva, e non sa ancora bene a chi riferirsi, come struttura decisionale.

Lo stesso problema della proprietà dei dati, che avrebbe potuto portare ad una risposta diretta e probante in sede di workshop accreditato istituzionalmente, ora è divenuto il punto nodale di discussione e proposta di decisione. Con i problemi della sicurezza cui si è accennato. Ma permangono il problema del modello informatico di controllo e la sua condivisione, l'opportunità di disporre di un laboratorio di livello universitario di supporto, ed un piano minimale di attuazione, con i quali andiamo a concludere il nostro lavoro di stesura.

7. Un modello proponibile dal mondo del software

Fra le indicazioni che possono essere qui fornite in merito alle società di software che potrebbero assumere la responsabilità di comporre un modello che garantisca le caratteristiche che qui andiamo indicando, due potrebbero essere indicate a livello propositivo e preliminare, esemplificativo ed esaustivo.

Siemens PLM Software, per la sua competenza specifica, per il suo essere parte di una più complessa struttura globale, molto diversificata anche in campo applicativo, circostanziabile nella competenza per esempio sanitaria, lungo un percorso ultradecennale attraverso la rendicontazione sistematica dell'e-partnership con i *dispacci PDM*, potrebbe garantire una soluzione probante. In modo analogo potrebbe farsi riferimento al corrispondente mercato della competizione globale, che vi gravita intorno.

L'altra proposizione riguarda la terna di prodotti software che la tedesca **Contact Software**, ora direttamente presente anche sul mercato italiano, che ha consentito la citata realizzazione della DFS, ma ancor prima e soprattutto un insieme di soluzioni relative alla galleria del Gottardo, alla tramvia sopraelevata di Amburgo, a quella di superficie di Stoccarda (completabile con quella del sistema fognario cittadino), la gestione di sistemi di chiuse che possono confrontarsi con quanto fatto dal sistema ideato da Eugenio Villoresi CIMDataBase, insieme a Project Office, completati da Workspaces sono i prodotti che rendono consistente l'alternativa proposta.

E la proposta può essere la base perché il proprietario dei dati da gestire, cioè chi si assumerà la responsabilità di committente del progetto, o chi comunque sarà preposto alla scelta, possa avviare un'accurata selezione convenzionale su questi binari.

8. Un laboratorio universitario per un modello condiviso

Un modello così complesso ed articolato, da gestire in un periodo che, pur apparendo a molti ormai breve (mentre decisioni importanti e strategiche sono ancora da assumere) è sostanzialmente lungo almeno un triennio ed obbligherà alla condivisione forse anche troppi enti, mentre alcuni fondanti sono ancora da verificare, presuppone un **laboratorio** di sperimentazione continua del modello generale, che non può che essere **universitario** (o anche interuniversitario purchè regolato).

A nostro avviso il Dipartimento BEST del Politecnico di Milano, espressione solidale di Ingegneria ed Architettura (ed oggi diretto da un docente che possiede entrambe le lauree) ove sia garantito dalla concertazione collaborativa del rettorato, ora in fase di assunzione di piene responsabilità, rappresenta un riferimento, plausibile ed auspicabile ad un tempo, che le giornate di Colorno potranno contribuire a verificare e consolidare.

Ciò potrebbe rafforzarsi, grazie soprattutto al successo che potrebbe assumere nel contesto complessivo della manifestazione, il *paper* presentato di concerto con le autorità Azere, e scelto per ben ambientare lo stand consortile (numero 12) in un contesto di eccellente **Naturalistica** ambientale caucasica, e che dovrebbe configurare anche la catena di successivi progetti che potrebbero e dovrebbero derivare in quella zona al limitare della storia dell'Impero Romano, con l'impegno archeologico, quindi anche dell'**Umanitaria**, della migliore competenza scientifica; proprio dove la Geomatica è di casa.

Certamente sarà un modello riferibile e consultabile attraverso molti dei suoi referenti attraverso il Capitolo Italiano dell'Alleanza Internazionale per l'Interoperabilità, che li trova la sede di riferimento internazionale, e la segreteria in un momento di atteso e pronto rilancio negli impegni istituzionali. Ha anche dimostrato di saper operare in spirito di servizio ...

9. Traccia di piano per accogliere i Paesi espositori mentre fervono i cantieri

Riprendendo il tema sviluppato in premessa, cioè la iterata presentazione dei problemi della grande Milano (che si prepara ad Expo 2015) attraverso i poster alle recenti edizioni della Conferenza Nazionale, citati in premessa, non possiamo non considerare le tre conferenze di ASITA che conseguiranno a questa, come altrettante occasioni per aggiornare sulla situazione attraverso un piano triennale, mobile annualmente (o semestralmente), se si pensa che una manifestazione come l'Expo deve lasciare una traccia ai posteri, anche se non potrà essere la Tour Eiffel che qualificò l'edizione parigina di inizio del Novecento ...

Il cardo ed il decumano si costelleranno di padiglioni costruiti dai partecipanti (Regioni Italiane e Stati esteri) che cercheranno di primeggiare, anche dopo Shanghai, pur guardando con realismo ad anni di congiuntura non positiva. Ad oggi un quarto delle nazioni potenzialmente partecipanti ha dato la sua adesione. Possiamo quindi ritenere che la fine del 2014 ed i primi mesi del 2015, saranno caratterizzati dalla costruzione di circa 200 piccoli cantieri, perchè è verosimile ipotizzare che la maggior parte di tali partecipanti agirà attraverso iniziative individuali, pur prevedendo *cluster* e accorpamenti interstatali... con la sicurezza già richiesta nei propri padiglioni da alcuni degli Stati che li hanno già richiesti.

Non sappiamo quale possibilità di cooperazione potrà derivare da coloro che potrebbero concorrere a determinare il traffico. E certamente un **questionario** ci potrebbe aiutare ... e siamo stati indecisi se collocarlo qui fra le figure o tabelle: lo distribuiremo a Colorno, così abbiamo deciso; e magari potrebbe essere la seconda o la terza delle slide che dovranno tutti preparare per la distribuzione diffusa del 2011.

Proprio alla vigilia dell'inoltro di questo *paper* o articolo tormentato, appena ritoccato di conseguenza, veniamo informati del brillante progetto di piastra per l'Expo, e di un piano stringato, ma plausibile per benarrivate alla rassegna. Siamo comunque in tempo, pur senza potere né volere

rivedere tutto il testo ulteriormente, di personalizzare il questionario sul tema del traffico, che comunque non viene affrontato in modo trasparente a dispetto del fatto che una città come Brescia, cioè 160.000 persone, da maggio ad ottobre 2015, ma almeno anche per un semestre di precedente allestimento si muoveranno intorno o attraverso Milano

E le infrastrutture di collegamento, raccordo, accoglienza, ospitalità ... saranno esse stesse motivo di cantieri non tutti smantellabili entro il finire del 2014. Linee metropolitane, raccordi stradali ma anche autostradali, linee ferroviarie locali potrebbero avere ancora cantieri aperti. Ma forse ancor più i cantieri dell'accoglienza per gli espositori ed i visitatori della rassegna; e forse sarà proprio la zona di Monza che prenderemo come nostro cantiere di lavoro E ci porremmo degli obiettivi annuali da rispettare, discutere nelle varie ASITA venienti: Monza accogliente, Monza fluente, Monza sicura E con appuntamenti semestrali primaverili per i tre anni mancanti, puntando su un'isola, che speriamo sia confermata e fatta (a dispetto delle quote di dislivello o altitudine e della complessità dei lavori) per la primavera del 2014 ...

Almeno adesso sappiamo che potremo confrontarci con il piano che l'ente istituzionalmente preposto per Expo 2015 ha divulgato ieri, a dispetto degli interrogativi espressi dai suoi stessi soci proprio il giorno prima.

Telecondotta, materia metodologica per l'educazione remota alla Geomatica

Mauro M. Langfelder (*), Giulio Occhini (**)

(*) IAI Italia, Dip.to BEST, Politecnico, Via Piatti 11, 20123 Milano
335 6278046, langfelder@tiscalinet.it

(**) AICA, p.le Rodolfo Morandi 2, 20121 Milano
339 3288820, Fax 02 76015717, g.occhini@aicanet.it

Riassunto

Lo sviluppo della tecnologia digitale italiana nei diversi ambiti della formazione in senso lato dall'AICA, che celebra i propri 50 anni dalla fondazione. Una particolare attenzione è dedicata all'educazione a distanza ai vari livelli dell'ordinamento scolastico, tendendo comunque ad amalgamare la crescita generale attraverso la cosiddetta continuità del processo formativo, che per i professionisti e le famiglie assume un carattere intergenerazionale. Parallelamente e per ben guidare il processo complessivo, la formazione dei formatori si è sempre meglio mostrata come un catalizzatore importante. La disciplina del complesso processo (gestione assenza fisica, evoluzione nello sviluppo educativo, esami, crediti formativi, ...) pretende un controllo sistematico e proposte migliorative continue e crescenti. In questo contesto la Condotta, dagli autori definita Telecondotta, già oggetto di alcune loro pubblicazioni, e ispirata dall'etica e dall'amore per la cultura, viene qui riproposta non solo come materia educativa di per sé, ma anche applicabile a materie convenzionali, come Geografia, Storia, Scienze naturali. L'occasione di ASITA pone in particolare rilievo la Geomatica come nuova geografia, derivante dall'osservazione satellitare ed accorpante un po' tutte le discipline parallele e qui confederate, ma anche l'Umanitaria come difesa della specie ripercorrendo la traccia della storia dell'uomo, e la Naturalistica, ispirata qui dalla temperanza, come virtù cardinale da riscoprire. Aggiornandosi con le innovazioni più recenti, discusse nel 2011 corrente, viene proposta una rete sociale di scuole permanenti, coprenti i diversi livelli (dalla media superiore alla specializzazione universitaria), e ancorabile al sistema istituzionale pubblico, anche attraverso soluzioni interregionali coerenti con i progetti europei. L'aggancio alla formazione dei docenti in reti di scuole qualifica il lavoro che si presta altresì per lo studio di zone di interesse artistico, ma anche archeologico di una lunga storia.

Teleconduct, as a methodical subject for distant learning to Geomatics.

Abstract

The development of Italian digital technology is assisted by AICA (an IFIP funding member, now celebrating 50 years since foundation) if a wide sense within the most different educational environment. A special attention has been dedicated to remote Learning at most different levels in the educational Growth process, anyhow attaining at the amalgamation of the general evolution by substantial continuity, which as to professional and families acquires an intergenerational meaning. To properly drive the general process even in a parallel way the formation of Educators has assumed a leading catalytic role. The overall process discipline (physical absence management, learning process evolution, exams, formation credits, ...) needs a Systematic control and continual improving proposals. In such a context the new Conduct (or behaviour) defined as Teleconduct by the authors, already mentioned in some of their publications, and inspired to ethics and cultural passion, is here proposed not only as an innovative discipline by itself but also as applicable to other conventional subjects, as Geography, History, natural Sciences. ASITA opportunity places in

a special site the Geomatics, as new geography, 's deriving from satellite observation; but also Humanitarian aq defence of thd human species, by rerunning his evolutioj, and Natural)sdcis here inspired as well by temperance as a virtue to be rediscovered. Through the updating by most recent innovatinl, as discussed in running 2011, a social school permanent network is here proposed, as covering different learning levels (from upper middle schools to university specialisation) and linkable to institutional public bodies, even by interregional solutions, compliant with European projects. The link with the education of educators in schooling networks qualifies the paper as well for artistic interest areas (not only in Italy), extensible to archaeological valuable zones of the longest human history.

1. AICA: 50 anni di polivalenza eccellente nella cultura e nell'educazione

Il 4 febbraio 1961 veniva costituita a Roma l'Associazione Italiana per il Calcolo Automatico, che appena nel 1983 completava la sua identità con "per l'Informatica" onde inserire la specificazione aggiornata a centro della sua sigla rimasta inalterata, ribadendo nella I rimasta singola i significati del bisenso. Il suo sviluppo iniziale fu coerente con l'impostazione che Luigi Dadda le volle dare, come di una disciplina che attraversasse la polivalenza della scienza emergente destinata alle rivoluzioni informatiche, che hanno qualificato i 50 di storia oggi celebrati, come sottotitola il libretto diffuso per festeggiare con "AICA: i primi cinquant'anni".

Nella Presentazione il Presidente Rodolfo Zich insistendo sin dall'esordio sull'innovazione come tratto qualificante l'oggi del suo futuro, ribadisce le tante **facce** dell'AICA accomunate: tecnologica, commerciale, professionale, sociale, ludica

Anche in forza di questa rappresentanza di storia nella storia, gli autori (un laureato cinquantennale nel primo indirizzo materializzato da Dadda al Politecnico di Milano ed un pluri-presidente dell'Associazione) hanno inteso qualificare la nuova materia interdisciplinare, qui presentata ufficialmente, come **Telecondotta**. E gli stessi furono autore ed editore di un libro che ⁽¹⁾ introduce alla grande mutazione apportata dall'*e-learning*, tanto per riunione come per formazione a distanza, dove, risalendo alla Grecia classica della nostra cultura, non solo si ricorda lo stare insieme del docente e discenti peripatetici, ma anche la premiazione che si dava alla cultura, giusto per fararci con quel **ludica** che verrà rimarcato dalle Olimpiadi (internazionali) di Informatica che si svolgeranno sul Garda di Sirmione nel 2012 (dopo quelle del 2011 in Thailandia) ...

Ma è la faccia **sociale** della proteiforme AICA, per riprendere la parafrasi di Zich, che da questo *paper* vorrebbe essere esaltata attraverso i *social network* che a più livelli si conformano e si intrecciano nell'acquisizione delle conoscenze: dalle reti scolastiche a quelle degli enti pubblici, ai cittadini che frequentano le biblioteche tradizionali oppure viaggiano nell'iperspazio del web, ma soprattutto per coloro che devono formare in remoto i formatori dei formatori. Reti sociali di reti sociali per interpretare nell'intimo il ruolo della telecondotta, materia disciplinabile per disciplinare le materie. E con ininterrotta continuità dalla media alla specializzazione d'ateneo, esaltando la precedenza della formazione dei formatori. E l'annuale Didamatica (con l'edizione più recente al Politecnico di Torino) via ha dato particolare risalto, non solo trattando delle reti scolastiche pugliesi, che lasciano l'impronta di un modello nazionale diffuso.

La dimensione internazionale dell'AICA è ben rilevata un po' in tutto il testo del libricino di celebrazione, attraverso i suoi capitoli; e qui viene ribadita per almeno due validi motivi. AICA insieme agli inglesi di BCS nel 1985 fu socio fondatore del **CEPIS** (*Council of European Professional Informatics Societies*) ed AICA conferisce la patente europea di guida del computer o ECDL ben nota a tutto il mondo della cultura e dell'educazione informatica, un po' in tutto il mondo, se solo si pensa a quanto fatto nel Congo.

Nel 1961 AICA superava i 1000 iscritti, quando solo 200 erano i computer installati in Italia.

Per lo statuto dell'AICA, aggiornato sistematicamente più volte in questi 50 anni, rimandiamo al recente libro, qui referenziato (e distribuibile ai richiedenti a Colorno), dove all'inizio di ognuno dei suoi sei capitoli ("Esagramma" è la parola chiave del titolo) riporta una frase emblematica estratta dal suo testo attuale, quasi a ripercorrerne un cammino finalizzato all'esposizione.

Naturalmente a Colorno verrà distribuito ai visitatori interessati il libretto dei 50 anni, pubblicato come supplemento di **Mondo Digitale** (al n.1 del 2011, quello di marzo), la ben nota rivista, forse la più compiuta fra le molte attività editoriali.

2. Intergenerazionale, interdisciplinare, interoperabile: tre interattività nell'educazione

Non intendiamo in questo contesto approfondire la distribuzione per età dei vari Soci, distinti fra ordinari e collettivi, studenti e benemeriti (ordinari e collettivi a loro volta) ed onorari ... ma gradiamo qualificare come intergenerazionale l'attività positiva che AICA conduce verso soci e non soci. Anzi alla parola vorremmo attribuire un significato che va ben oltre l'età anagrafica, considerando, semmai, quella della cultura informatica che l'associazione ha cercato di considerare in tutti i modi possibili, come attraverso libri (potremmo dire classici) dell'ignoranza informatica ⁽²⁾ come si è voluto identificare l'antitesi di cultura. Si tratta in fondo di una misura della continuità formativa che l'AICA porta ai soci; cosa che peraltro alcune istituzioni professionali (Ordini compresi) non fanno sempre attraverso riconoscimenti accreditati.

La circolazione in **famiglia** di pubblicazione dell'AICA, così come quella a scuola od in ufficio, pubblico o privato che sia, cioè su quello che ci piace definire come **desco** (recuperando alla nostra lingua una parola sua che il desk computer ha preferito de-italianizzare) è forse l'apporto più vistoso che l'associazione ha saputo fare in questi 50 anni di almeno due pieni ricambi generazionali d'anagrafe e (forse) una decina di ricambi generazionali di scuola. Un tema che ha avuto un rilievo nella letteratura corrente e che riportiamo genericamente in bibliografia.

Intergenerazionale; ed interdisciplinare per il proliferare di materie, di piani di studi, di facoltà universitarie di tesi e di ricerche, di studi e di dottorati che AICA ha cercato di armonizzare, anche a livello internazionale. Questa può essere anche l'occasione per stimolare ed invitare tutti coloro che hanno da riferire, in chiave di divertimento, quindi anche ludica (nel suggerimento della disciplina olimpica ogni possibile contributo internazionale per l'imminente 2012 ...

Insomma nelle scienze dell'educazione l'interattività assume la multiformità più esasperata che oggi si possa considerare, e qualificare attraverso la parola chiave dell'**interoperabilità**, soprattutto se considerata nel senso che i vari propugnatori degli standard di prodotto industriale, edilizio o territoriale hanno inteso conferirgli, da ProSTEP all'*Open Geospatial Consortium*, richiamati in altri paper, anche delle edizioni di ASITA degli anni precedenti e che soprattutto nei nostri corsi (che intendiamo anche scatenare con questo *paper*) verranno ripresi con un doveroso livello di analisi e dettaglio.

3. Il sillabo di Erice

Ma prima di chiudere questa nostra premessa, pensando al ruolo dell'AICA come referente principale della sintesi culturale fra gli espositori nello stand consortile di Colorno, capitale della cultura geomatica di quest'anno, vorremmo richiamare le emergenze planetarie come sono state classificate e professate dagli scienziati di Erice, cittadina del Trapanese che sta a ricordare non solo la storia intergenerazionale dell'Italia romana (lì Enea, in viaggio verso il Lazio, si fermò per seppellire il padre Anchise, appena deceduto) ma anche quella viva per scienza e fede attraverso il locale **Centro Studi** dedicato ad **Ettore Majorana** nel nome anche di Galileo ed Enrico Fermi, che nobilita anche oggi un valore universalmente riconosciuto. Qui presentate a conclusione della premessa, verranno poi riprese.

Sono quindici le classi di emergenze codificate (vedi fig.1) che peraltro abbiamo inteso accorpate in tre gruppi omogenei di cinque, definendole come relative all'**ambiente**, al (livello di) **benessere** (come contrapposizione all'indigenza), alla **difesa** per riferirle alle tre materie o discipline oggetto anche dei nostri altri *paper* che hanno in questo la traccia guida che dell'insegnamento quale vorremmo fosse impartito dal nostro sistema scolastico. E questo accorpamento ha avuto anche un nome di caratterizzazione: il **sillabo** degli scienziati di Erice, per essere divulgato attraverso un vocabolo chiave, che esprima anche un preciso orientamento interdisciplinare, pur nel rischio di una presunzione che vorremmo fosse invece interpretata come umiltà.

INDIGENZA E SOTTOSVILUPPO

ACQUA (1)
SUOLO (2)
CIBO (3)
LIMITI ALLO SVILUPPO (6)
OLOCAUSTO NORD-SUD (13)

AMBIENTE

ENERGIA (4)
INQUINAMENTO (5)
CAMBIAMENTI CLIMATICI (7)
MONITORAGGIO DEL PIANETA (8)
INQUINAMENTO CULTURALE (13)

DIFESA SANITARIA E MILITARE

MINACCE MILITARI MULTIPOLARI (9)
DIFESA OGGETTI COSMICI (14)
INVESTIMENTI MILITARI (15)
SOSTITUZIONE DI ORGANI (11)
MALATTIE INFETTIVE (aids, ...) (12)

Figura 1 – Il Sillabo di Erice.

In questo il libro “Esagramma per l’educazione all’ambiente” (AICA editore) può essere anche inteso come testo di riferimento per quanto qui esponiamo. E la geometica come espressione della nuova geografia e delle emergenze di Erice attribuibili all’ambiente, viene qui presentata insieme alla telecondotta.

4. Norme e regole per la disciplina delle materie d’insegnamento

Ora qui intendiamo vedere quali potrebbero le linee guida per eventualmente arrivare a regolare attraverso norme riconosciute le condizioni perché l’insegnamento a distanza sia disciplinato in modo trasparente per tutti in una fase in cui molto se ne disputa, ma troppo scioltamente. Una progressiva e parziale trasformazione programmata è la base del nostro impegno, sorretto dalla tecnologia. E spieghiamoci subito con qualche esempio.

Separare fisicamente il docente dai discenti potrebbe essere ammesso solo per strutture attrezzate da un lato e dall’altro dell’aula virtuale: il desco cattedratico del docente deve collocarsi in un posto definito e certificato, fosse anche fuori dalla scuola per un numero riconosciuto di lezioni rispetto al totale, ancorché quasi senza limite. Analogamente il desco del discente dovrebbe essere definito e tracciabile, e questi potrebbe usarlo solo per un numero, tendenzialmente minoritario, di lezioni o esercitazioni, generalmente dettate da impossibilità fisica di essere presente; soprattutto per i primi corsi frequentati in questo modo. Modalità di poter controllare la presenza attenta a distanza potrebbero essere considerate dal docente, necessariamente informato da un appello telematico, se non proprio da una visione a distanza nel caso di aule autorizzate a raccogliere in altra scuola presenze certificabili. Ed il concetto di rete di reti emerge in tutta la sua potenziale ricchezza e vastità, aprendosi addirittura alla dimensione internazionale dell’insegnamento impartito. Nel testo dell’esagramma edito dall’AICA è riportato uno schema funzionale di tutori e mentori, per inquadrare tutti i protagonisti (vedi fig.2) del processo, anche nel ricordo del precettore del figlio Telemaco dell’Ulisse, allontanato a lungo dalla patria per combattere a Troia, con affidamento regolato al precettore Mentore. ...

Il controllo della crescita didattica dell’alunno discente, sia durante il percorso educativo che nel momento formale dell’esame, suggerisce varie alternative che potranno essere oggetto di consultazione e discussione nelle diverse occasioni che Colorno potrà offrire durante il suo intenso triduo: sessioni diffuse, incontri didattici in mini-auletta con lavagna interattiva, esposizione di poster nello stand (in forma fissa o mobile) in funzione degli incontri, distribuzione di materiale informativo, raccolta di eventuali questionari predisposti ad hoc nel trimestre propedeutico, ...

La possibilità di diffondere anche il corso stesso di Geomatica, in una versione italiana preliminare od in un *format* più compiuto e multilingue potrebbero stimolare ulteriormente gli approfondimenti

pertinenti. Si intende così completare con chiose successive all'evento il *paper* presentato e diffuso in modo innovativo, ma limitante. E con l'impegno a stabilire una continuità annuale per le successive manifestazioni di ASITA con particolare riferimento alla geomatica, che interpreta ormai tutte le funzioni delle associazioni federate.

5. Dallo Spirito di Erice al sillabo di Colorno

Il Manifesto di Erice si avvia a compiere i suoi primi trent'anni dall'agosto 1982 quando Dirac, Kapitzka e Zichichi lo proposero e gli scienziati a decine di migliaia si impegnarono a sostanziarlo sottoscrivendolo. Introducendo scienza e tecnologia impegnate per trasformare in amore l'odio, che la contrapposizione militare andava sempre più seminando, fissava in sette punti l'impegno dei governi in un nuovo spirito di consapevole orientamento. Quello **spirito** (o *geist*) si è poi posizionato soprattutto in alcune classi di emergenze planetarie; ma qui vogliamo concentrarci su quella (la tredicesima delle quindici) definita come **inquinamento culturale**, e ascritta fra le cinque dell'ambiente, quindi riferibili alla geomatica, nel cosiddetto **sillabo**, perché ci sembra che includa anche quella che AICA ha da tempo qualificato come **ignoranza informatica**, particolarmente se si pone mente al peso che la cultura del web sta assumendo a prevaricare sulla lettura cartacea tradizionale, ben difficilmente in grado di accompagnare, guidandolo, un cambiamento epocale.

E Colorno vuole essere nel suo complesso, dopo la consacrazione del **sillabo** fra i partecipanti attivi ad ASITA 2009 a Bari, all'indomani degli eventi dell'Aquila imprevedibili nell'edizione del 2008 che fu ospitata presso la caserma della guardia di finanza ... , l'edificio che rimase intatto a fronte di tutti i crolli delle case dello studente e dell'ateneo.... E non solo per stabilire un confronto etico e politico, che fa capire quanto sia inquinante culturalmente quella politica che diversifica gli alti gradi militari dalle attività formative dell'università. Anche poi Brescia 2010 ha costituito per gli addetti ai lavori un'opportunità continua e premente di innovazione della tele condotta in chiave geomatica.

Le emergenze delle classi accorpate nell'**ambiente** quindi nella **geomatica**, si completano nel sillabo con quelle della **difesa** (sanitaria e militare) nell'**umanitaria**, e con quelle del **benessere** (cioè di quello che scarseggia nel mondo dell'indigenza e del sottosviluppo) che ritroviamo nella **naturalistica** dello sviluppo disciplinare del sillabo. Fra queste (la decima delle quindici) ci fa dire che, riferendosi all'olocausto nord-sud è quella che forse potrebbe essere una base di partenza alternativa per ogni approfondimento ... Più avanti accenneremo a questo completamento per una presentazione che faccia definire il **sillabo** stesso come quello di **Colorno**.

6. Virtù e temperanza per superare l'inquinamento culturale

In questo *paper* che intende concentrare la cultura dell'ambiente attraverso la geomatica come materia disciplinata dalla telecondotta per un insegnamento che sia fra generazioni diverse per età e/o per cultura, ci sembra opportuno proporre anche un riferimento virtuoso ai cardini della nostra fede e dottrina, onde rasserenarci nello spirito della **moderazione**. Il riferimento ad una virtù cardinale, sia nella definizione ecclesiale che nella buona cultura della virtuosità, ci sembra provenire dalla **temperanza**, che è appunto moderazione. Potrebbe essere questa, forse anche prima e più di ogni altra, quella da qui muovere per combattere alla radice l'inquinamento culturale che pervade nella continuità la nostra classe politica attuale, soprattutto in Italia, dove è divenuta consuetudine quotidiana, connaturandosi in ogni dichiarazione o affermazione, proposta o programma, discussione o relazione, scritta o verbale

Ma la telecondotta, prima ed insieme alla geomatica ci soccorre, consentendo di portare a domicilio questi nuovi messaggi culturali per chiunque li voglia articolare e irradiare, tanto da indurci a rammemorare una pubblicazione del passato, che pur redatta da un (così direbbero i veneziani mutuando il monumento a Nicolò Tommaseo nella sua piazza o campo)... cacalibri. Vediamo qui in qual modo.

7. Geomatica a domicilio ...

L'editore Feltrinelli nell'ormai lontano 1983 pubblicò **Informatica a domicilio**, cui venne anche conferito un riconoscimento con il premio Glaxo per la divulgazione scientifica. L'autore non aveva ancora indovinato che lo strumento principe del cambiamento sarebbe stato qualificato come **personal** computer, o, meglio, non gradiva quella definizione, non ancora espressa in modo divulgativo, perché lo vedeva come strumento di tutta la famiglia, quasi come la televisione imperante. Ed anche la scelta della copertina interpretò questa visione. Era stato chiamato **microcomputer** dall'autore per la sua dimensione rispetto al consueto, e per il prevalere della tecnologia, e per il suo scalare quello che era già il minicomputer Comunque l'informatica arrivò *de facto* ad ogni domicilio. Come potrebbe accadere per la visione satellitare espressa dalla nuova geografia fra le discipline ambientali a far scomparire meridiani e paralleli, ma ben lasciando latitudine e longitudine. Sicché semmai assumerà anche la forma di libro ciò che qui si comincia ad ipotizzare... E allora prenotiamo già alcune parole chiave per quello che potrà esserne un titolo, cioè come geomatica a domicilio ...

Geomatica: la nuova geografia per tutti
ASITA: la regia della geomatica italiana, ricorsi annuali sul territorio
Geomatica e Telecondotta: nate per insegnare in modo innovativo
Intergenerazionali, interdisciplinari, interoperabili
Geomatica per l'impresa: soci, dipendenti, sindacati, servizi, ...
Geomatica per le imprese: pubbliche e private
Geomatica per i professionisti: tecnici e non tecnici
Geomatica per il ciclo scolastico: dalle elementari all'ateneo
Formazione dei formatori: comune e permanente
La geomatica tecnologia per le altre scienze

Figura 2 – Geomatica: sintesi di programma.

Ci sia qui consentito anche di ribadire qui, sommessamente, che il termine **geomatica** sembra ormai avere assunto una significatività che sembra coprire un po' tutte le discipline che le varie Associazioni confederate in ASITA esprimono ancora pienamente con la loro storia e specializzazione, tecnologica scientifica e divulgativa. Ed i libri scritti anche da autorevoli protagonisti della storia di questi tre lustri di ASITA lo confermano pienamente; e lo hanno indirizzato in un mite avanzamento scientifico ed universitario.

8. Archeologia e paleontologia, per naturalistica ed umanitaria

Torniamo a quanto ci ha fatto riflettere al di là della geomatica, sulle altre materie che guidate nella trasformazione didattica dalla tele condotta: naturalistica ed umanitaria, a completamento anche del contenuto espresso dal syllabo di Colorno. Si tratta delle scienze naturali e della storia per accompagnare la geografia della scuola convenzionale delle ultime generazioni.

Abbiamo fin qui guardato soprattutto al futuro. E comunque sia questo nuovo modo di vedere, di storicizzare quanto visto per ogni documentazione e nel rispetto delle leggi, in serie frequenti e ripetitive, da più occhi o punti sensoriali di rilevazione, lo stesso riferimento potrà essere fatto sia per antivedere verosimili comportamenti successivi (e non solo le isole che rischiano di scomparire per l'innalzamento dei mari oceanici ...) assunti per guardare alle conseguenze del nostro modo di far vivere il pianeta, che abbiamo avuto in prestito dai futuri discendenti.

L'innovazione che intendiamo esprimere è anche quella di guardare al lontano passato e non solo al prossimo futuro, dell'uomo (la sua storia appunto) e della natura che lo ospita in termini di flora, ma anche di fauna con cui convive. Siamo quindi portati a dire di archeologia e di paleontologia: uomini in natura e di animali o piante che lo hanno circondato.

Le due nuove materie possono presentarsi con serie di tematiche comuni, parallele; ma che ci portano indietro nel tempo in modo radicalmente diverso. A proposito della geomatica, quindi

dell'archeologia potremmo ancora sottolineare che l'AICA è pervenuta alla certificazione 3D dei monumenti di riferimento, cioè ai modelli matematici ed informatici che possono accompagnare gli studi e le ricerche per ogni dove di quello che fu l'Impero romano: dall'Azerbaijan di un paper qui presentato al limitare dell'Europa continentale protesa verso l'Inghilterra da Ostenda dove Corila ha gradito un paper a CoastGIS di inizio settembre

L'archeologia dell'umanitaria ci fa retrocedere non solo dei 2000 anni che il Politecnico di Milano ripercorre per gli scavi di Agdù, ma anche degli altri 8000 che possono portare alla storia dell'umanità preromana ed accompagnare il percorso biblico del Vecchio Testamento nella sua maggior parte. Ma la paleontologia della naturalistica ci riporta a ritroso nel tempo ben più a lungo: quasi nel rapporto di cento a uno, un secolo per ogni anno.... Quanto può accomunare i reperti rinvenuti sotto il Castello di Lerici con quanto emergente dal Ceresio intorno al Monte San Giorio, doppiamente patrimonio dell'Unesco, cioè dell'umanità, sia dal versante svizzero ticinese (2003) che da quello lombardo e varesino (2010) di quello che 230 milioni di anni fa era la comune Tetide, con Tirreno ed Adriatico direttamente collegati

La telecondotta per riunioni, lezioni, esercitazioni
La geomatica satellitare come materia guida per costruire, gestire, conservare
L'interoperabilità della geomatica con naturalistica ed umanitaria
Le emergenze planetarie degli scienziati di Erice si ritrovano nel piano di formazione
Dallo spirito del manifesto di Erice al syllabo che guida il piano
Inquinamento culturale ed Olocausto nord-sud le classi sovra-emergenti
Interazione uomo natura nel tempo
Paleontologia ed archeologia: le grandi epoche della storia
Scienze nella storia e storia delle scienze
Una materia guidata dalla telecondotta e controllata dalla geomatica

Figura 3 – Naturalistica e Umanitaria: traccia di programma condiviso per tempi differenziati.

Qui dunque c'è il maggior spazio per la **telecondotta** che accompagni le nuove materie e discipline in un percorso parallelo illustrati in figura sia per **naturalistica** che **umanitaria**, cioè benessere e difesa per dirla con Erice ed il suo syllabo ma con la scala dei tempi che abbiamo appena sottolineato.

9. Le reti sociali di reti sociali

A Colorno si dovrà essere capaci di definire le reti sociali di AICA e dei suoi sistemi scolastici, certamente estesi almeno al livello nazionale attraverso reti regionali, che potranno a lor volta connettersi con le reti museali di PANGEA e del Ceresio insubrico, a loro volta nascenti e fra loro connettabili comprendendo i vari musei prestigiosi, per portare un po' in tutto il mondo della scuola quelle possibilità di visita che oggi sono quasi solo fisiche, mentre potrebbero essere virtuali, ricche ed aggiornate

Portare alle categorie professionali dei progettisti ed agli enti pubblici territoriali competenti le stesse possibilità culturali, anche per un monitoraggio ottimale del territorio, e per una formazione tecnologica aggiornata a tutti i livelli funzionari ali ed operativi, sono altrettanti miraggi che Colorno intende proporci di fare, per accompagnarci verso l'Expo 2015 e le tre conferenze ASITA dal 2012 al 2014 che potranno precedere ed arricchire ogni attività qui anticipata, che i corsi in progetto potranno accompagnare grazie alla telecondotta professata per la geomatica ed allargata all'umanitaria ed alla naturalistica, come anche altri paper paralleli, cercheranno di approfondire in questo contesto che parte da Colorno, dal syllabo e dai corsi, anticipati nelle figure.

Quanto potranno i progetti Nereus, condivisi da regioni pilota italiane, allargati ad altri soci, definiti appunto associati, vecchi e nuovi, con i loro gruppi di lavoro o WG con particolare riferimento al GNSS per la navigazione satellitare e GMES per l'osservazione della Terra, contribuire a sviluppare dopo le presentazioni di Colorno sarà un altro argomento di particolare interesse per l'organizzazione delle reti.

Naturalistica per debellare l'inquinamento della cultura di oggi e tutelare arte e paesaggio

Mauro M. Langfelder (*), Edoardo Zanaboni (**)

(*) IAI Italia, Dip.BEST - dispacci PDM, Via Piatti 11, 20123 Milano

Tel. 335 6278046, langfelder@tiscalinet.it

(**) Fedearchitetti Lombardia, Via Pantano 17, Milano

Tel. 027634083, Cell. 335 242139, edozanaboni@tiscali.it

Riassunto

Le emergenze planetarie degli scienziati di Erice (polo di cultura storica ed archeologica) attuali e condivise, già riproposte anche a Venezia, per la conferenza di Corila, articolate nei tre gruppi di benessere ambiente e difesa, vengono profilate intorno all'inquinamento che pervade la cultura, per essere professate dai professionisti di area tecnica, oggi proponenti attivi di nuovi modelli geomatici per prevenire i rischi ambientali. Ma sono l'occasione anche per proporre gruppi di lavoro volontario ispirati alla temperanza, come virtù civica capace di debellare tale inquinamento culturale. Gli ingegneri e gli architetti lombardi, allargando il proprio impegno a tutti i professionisti, anche fuori dall'area tecnica partono dalle reti Nereus, dai loro gruppi di lavoro (GNSS e GMES) e dai sistemi sociali organizzati in alcune regioni, perché in forma volontaria, ma rigorosa, si arrivi alla rappresentazione ed osservazione sistematica dal cielo anche per tutti gli enti pubblici territoriali locali, oggi assenti nei processi tecnologici che sarebbero di loro grande interesse soprattutto per monitorare in modo permanente diverse fenomenologie. Partendo dagli interventi proposti anche ad Ostenda per il Golfo dei Poeti a Lerici per la trasparenza del controllo pubblico e privato del territorio patrimonio dell'umanità, il paper avanza alcune proposte di interesse generale, fra cui il controllo del bacino idrografico del Po. La presenza a Colorno, sul Parma che confluisce verso il Po ...; gli affluenti di sinistra (Ticino e Adda in particolare) ... e la vicinanza di Caorso (quasi equidistante fra Trino Vercellese e la Laguna) possono offrire il riferimento per un modello interregionale propositivo ad azioni sistemiche e dibattiti, che a Colorno troveranno luogo e modo per un approfondimento interprofessionale.

Naturalistics to defeat today cultural pollution and defend art and landscape.

Abstract

The planetary emergencies of Erice scientists (that is shared in a pole of historic and archaeology culture), already proposed at Corila earth global conference in Venice, are segmented in three groups: welfare, environment, defence. They are profiled around the pollution, here named also defilement, which pervades culture. It is the thirteenth among the overall fifteen. The technical area professionals, here proposers of new claimed geomatics models to prevent from environmental risks, are firmly professed. But they are well the opportunity to propose volunteers working groups, inspired by temperance, as a civic virtue capable of positively fighting such a cultural pollution or ethical defilement. Lombard engineers and architects, enlarging their proper engagement to all professionals also out of the restricted technical area, start from the Nereus regional networks, and mainly by their Working Groups (such as GNSS and GMES) and the social networks already existing in some performing Italian regions, so that in a volunteer, but rigorous form, they may get representation and systematic observation from sky to earth for all territorial and local bodies. In fact, at least in Italy, they are rather absent in the practical implementation to monitor in a permanent way, many different phenomena. Starting from the intervention proposed by Oostende

CoastGIS for the Poets Corner for a transparent public and private monitoring of humanity patronage territories, the paper makes some proposals of a general interest, among which the Po hydrographical basin. The active presence by Colorno, on the Parma flowing to the Po..., the left affluence of other river (especially Adda and Ticino) ... and Caorso propinquity (equidistant from Trino Vercellese and the Venice lagoon) might offer the reference to an interregional proposed model for systematic actions and debates, which may find by Colorno space and way for an inter-professional in depth analysis.

1. Lo sfilamento (culturale) e le emergenze del sillabo nel rischio ambientale

Macchia, contaminazione, profanazione ... sono le traduzioni correnti di *defilement*, la parola che ci piace di più di *pollution* per arrivare a chiamare quello culturale, la tredicesima classe delle quindici che fanno le emergenze planetarie degli scienziati di Erice. Comprende TV, stampa, radio, video... come sottoclassi, spaziando attraverso i sistemi di informazione e comunicazione moderni: meriterebbero un'analisi più accurata. Appare piuttosto interessante il fatto che l'inquinamento ambientale e quello culturale siano riportati entrambi sotto questa stessa parola chiave, sicchè ci è comunque apparso spontaneo il farli rientrare nello stesso raggruppamento (ambiente) del sillabo e nel contempo cercare un vocabolo nuovo per favorire ogni sviluppo autonomo.

Il manifesto di Erice, e quanto ne è derivato, ha un'evidente dimensione globale e planetaria, anche se nato in casa nostra, e attraverso i decenni ha scavalcato anche la caduta del Muro di Berlino, tuttavia la tredicesima delle emergenze sembra fatta per l'Italia, paese dove l'inquinamento culturale oggi è più pervasivo. Ci macchia di disonore di fronte al mondo, anche nazionale, dei benpensanti; ci contamina negli interventi quotidiani di ogni esponente di quasi tutte le parti politiche,; profana la nostra lingua grammatica e sintassi, dove il positivo si è fatto superlativo, ed il superlativo sostituisce l'opposto: oggi una manovra che nasce molto tardi (o tradissimo) si professa per essere stata fatta presto... Per ciò tutto abbiamo scelto la traduzione letterale sfilamento per qualificare l'emergenza ericina. Magari proprio anche perché lo sfilamento, pur desueto, nella nostra lingua significherebbe: parata, corteo, sfilata, ... quasi proprio quello che avviene in realtà ... I professionisti di area tecnica, ingegneri in particolare, hanno classificato le quindici emergenze planetarie di Erice, secondo un raggruppamento omogeneo, che dopo le ASITA di Bari (2009) e Brescia (2010) ha consolidato la sua denominazione di **sillabo**.

Cinque classi di benessere, come emergenza dall'indigenza; cinque classi di ambiente con il suo inquinamento (atmosfera) ed il *defilement* affiancati; cinque classi di difesa della salute e dagli eventi bellici o militari.

INDIGENZA E SOTTOSVILUPPO	naturalistica
ACQUA (1)	
SUOLO (2)	
CIBO (3)	
LIMITI ALLO SVILUPPO (6)	
OLOCAUSTO NORD-SUD (13)	
AMBIENTE	geomatica
ENERGIA (4)	
INQUINAMENTO (atmosfera) (5)	
CAMBIAMENTI CLIMATICI (7)	
MONITORAGGIO DEL PIANETA (8)	
INQUINAMENTO CULTURALE (o <i>defilement</i>) (13)	
DIFESA SANITARIA E MILITARE	umanitaria
MINACCE MILITARI MULTIPOLARI (9)	
DIFESA OGGETTI COSMICI (14)	
INVESTIMENTI MILITARI (15)	
SOSTITUZIONE DI ORGANI (11)	
MALATTIE INFETTIVE (aids, ...) (12)	

Figura 1 – Il Sillabo di Erice.

Li riprendiamo mutuando una figura (fig.1) riportata da una pubblicazione edita dall'AICA, l'Associazione Italiana (di Informatica) e Calcolo Automatico, che in un *paper* parallelo a questo ha inteso anche definire come telecondotta, la disciplina del riunirsi o dell'insegnare a distanza, quasi fosse un'evoluzione della condotta, mutuata dalla sovversione del concetto di assenza e presenza (fisica) di aula. E la telecondotta è la materia che guida le altre che il syllabo riconduce a: scienze naturali, geografia, storia quindi a quelle scelte come paradigma (e definite) dal syllabo per aiutarci ad ... emergere dalle emergenze planetarie di Erice: **naturalistica, geomatica, umanitaria**. Sulla naturalistica intendiamo qui spendere qualche parola, avendo lasciato spazio nella precitata relazione o *paper* alla geomatica (la materia che si identifica con la missione di ASITA) ed al contesto della cultura universitaria la difesa del pianeta correlabile alla storia delle civiltà ...

Le cinque classi della naturalistica concernono: acqua e suolo, quindi il cibo, per poi evidenziare lo smarcamento fra nord e sud del mondo, sia attraverso i limiti alla sviluppo, sia a ciò che gli scienziati hanno voluto definire olocausto, mutuando un'estrema e rigorosa severità nella condotta di chi fruisce di benessere, emarginando l'indigenza.

2. I professionisti tecnici professano la professione

Federarchitetti, che accomuna ingegneri ed architetti in un unico sindacato, secondo una logica che pure appartiene alle facoltà del Politecnico come alla loro Cassa comune di previdenza ed assistenza, viene apprezzata proprio per questa spinta che può dare in modo integrante a molte attività di progettazione. Sotto lo slogan di "FA geomatica" essa proporrà a tutti i professionisti sia dell'area periti, geometri, geologi, ... che di tutte le aree professionali, erette in sindacato di categoria, partendo dal livello lombardo ma guardando indifferentemente a tutte la Regioni (anche se quelle associate alla rete Nereus ne saranno coinvolte più esplicitamente) ed auspicabilmente anche a livello internazionale, una promozione viva del volontariato professionale mirato preliminarmente alla difesa dell'ambiente e del paesaggio naturalistico della regione padana, ma allargato alla Milano della sua cella insubrica della nascita per proiettarsi in modo trasparente verso l'Expo del 2015, come manifestazione di cultura professionale.

Per ottemperare nel modo più compiuto a quanto espresso dal syllabo di Erice, sono espressamente invitati i referenti della naturalistica (biologi, botanici, zoofili, ...) e dell'umanitaria (medici, farmacisti, ..., ma anche esponenti delle professioni amministrative, notarili, forensi, ... per protendersi verso un'espressione comune sulle scienze della vita nel territorio. Così come è auspicato che qualche categoria, o ente territoriale presente a Colorno, abbia nel frattempo promosso o consolidato la partecipazione sia come socio a pieno titolo che come aggregato a Nereus ... ovvero che abbia partecipato costruttivamente alle attività dei *working group* ... ed è perciò che qui richiamiamo brevemente tali aspetti istituzionali ed operativi.

3. La Lombardia di Nereus ed i gruppi di lavoro GNSS e GMES

Una canale istituzionale che potrebbe impegnare i liberi professionisti associati, motivandoli attraverso un'organizzazione comunitaria, saldamente ancorata alla dimensione regionale lombarda, poi interregionale, potrebbe essere il progetto Nereus (*network of European regions using space technologies*) in cui le regioni, unite condividono il governo della rete. Articolato attraverso gruppi di lavoro prestanti, esso potrebbe farsi, attraverso la partecipazione a quelli opportunamente prescelti, l'agente, o addirittura il motore del cambiamento organizzativo, partendo proprio dal dibattito propositivo a Colorno.

Ecco dunque presentati gli obiettivi dei 5 gruppi di lavoro: osservazione GMES, navigazione GNSS, telecomunicazioni, educazione, ed infine politiche regionali. L'Emilia Romagna che ospita tutti a Colorno, dopo essersi eventualmente associata come ottava italiana potrebbe accompagnare il quinto WG con il suo proverbiale spirito d'iniziativa, per poi orientare ASITA, attraverso le prossime manifestazioni, risalendo a ritroso agli atti delle precedenti di Aquila, Bari, Brescia ... E così l'AICA potrebbe svolgere un ruolo attivo sia nella terza (istituzionalmente sua) così come nella quarta, facendosi paladina di quanto nella stessa Colorno potrà essere diffuso o irradiato, anche di

concerto con Federarchitetti. Nella figura 2 seguente in forma tabulare riportiamo le ventisei regioni Nereus che sono a pieno titolo membri.

Abruzzo (Italy)	Andalusia (Spain)	Brittany (France)	Lombardy (Italy)
Apulia (Italy)	Brussels Capital (Belgium)	Madrid (Spain)	
Aquitania (France)	Castilla y Leon (Spain)	Mazovia (Poland)	
Azores (Portugal)	City of Vienna (Austria)	Mecklenburg-Vorpommern (Germany)	
Baden-Württemberg (Germany)	East Midlands (United Kingdom)	Midi-Pyrenees (France)	
Basilicata (Italy)	Free Hanseatic City of Bremen (Germany)	Molise (Italy)	
Baviera (Germany)	Guyana (France)	Piedmont (Italy)	
Brandenburg (Germany)	Hesse (Germany)	Veneto (Italy)	Wallonia (Belgium)

Figura 2 – Le Regioni, membri di Nereus.

Analogamente riportiamo nella seguente figura 3 un breve stralcio di coloro che sono membri associati su un totale di ventisette, aggiornati ai nostri dati più recenti, scelti fra quelli italiani onde fornirne un riferimento utile per la Conferenza di ASITA.

Assoknowledge Confindustria Servizi Innovativi e tecnologici (Lazio)
Centro Interdipartimentale Studi e Attività Spaziali, CISAS, «G.Colombo» (Veneto)
Consorzio per Gestione di Coordinamento delle Attività di Ricerca Inerenti il Sistema Lagunare di Venezia, CORILA (Veneto)
Consorzio per le Tecnologie per le Osservazioni della Terra e dei Rischi Naturali (Basilicata)

Figura 3 – I membri associati di Nereus (stralcio).

Ma ogni analisi di Nereus deve prendere bene in considerazione i gruppi di lavoro o WG che ne sostanziano l'attività, ed in particolare per quanto ci riguarda i due che caratterizzano direttamente il ruolo di ASITA: l'osservazione della terra dal cielo e la navigazione satellitare cioè GMES e GNSS. La conferenza di Colorno, se nulla avverrà nel frattempo, dovrebbe determinare l'adesione a Nereus di qualcuno degli enti consorziati nello stand 12 della Reggia, o strutture a loro correlabili. Diciamo anche che secondo la nostra visione GMES dovrebbe interessare di più i modelli geomatici di ogni nostra rappresentazione locale, mentre GNSS dovrebbe orientarsi verso chi ha potere decisionale nei confronti delle autorità comunitarie.

4. Il volontariato geomatico da Ostenda al dopo Colorno verso l'Expo 2015

Corila tanto a Venezia quanto ad Ostenda ha sostenuto che il volontariato geografico, geodetico o geomatico che dir si voglia, cioè sui sistemi informativi territoriali, è molto diffuso un po' su tutto il pianeta; ma anche che praticamente dovunque è sentita la carenza o la mancata applicazione di standard. Quindi uno dei percorsi da tracciare nel cammino da Colorno, cioè ASITA 2011, all'Expo che si avvierà a Milano a primavera del 2015, quindi appena tre anni e mezzo, può ben essere quello dell'evoluzione del volontariato GIS verso gli standard, *de jure* o *de facto*, o dell'impegno nell'applicarli.

L'area intorno a Colorno, con Caorso in particolare ha scritto capitoli di storia del nucleare italiano; così come le equidistanti Trino Vercellese o Porto Marghera, considerando l'intero ciclo di vita del prodotto, scorie dunque comprese, meriterebbe un interessante approfondimento, che potrebbe essere ben esteso agli abitanti rivieraschi del Po... E potrebbe costituire la base per un gruppo di volontari per il monitoraggio della ipotetica centrale nucleare, ormai esclusa per legge ma anche per ricanalizzare la fine delle scorie di Trino ...

Le minacce di inquinamento del Golfo dei Poeti (navi gasiere e portacontainer, acque del Magra, ...) e la possibilità di costituire gruppi di volontariato fra le organizzazioni turistiche, come potrebbe essere probante per il monitoraggio del traffico sopra la grande Milano (pure oggetto di un paper parallelo) potrebbe trovare anche a Colorno una base interprofessionale di discussione comune. Certamente rappresentanti fiduciari di Ordini un po' per tutte le professioni (mediche, forensi, ... e tecniche) potrebbero essere il nocciolo duro di una struttura di questo tipo.

Il cibo, che per Expo 2015 come nutrizione del pianeta sarà un tema portante, è oggetto pertinente per ogni approfondimento locale; come del resto, pensando ancora al patrimonio dell'Unesco del golfo dei Poeti, ogni meditazione sulla dieta mediterranea, che lo stesso ente ha voluto nobilitare con un riconoscimento analogo; e non tanto per i cibi in sé, ben rispettosi del suolo, ma anche curiosamente per il modo di convivere intorno al desco della mensa

La provincia di Parma, città della Barilla e del suo benemerito Centro Studi per il Cibo e la Nutrizione, aggiunge altri spunti per un approfondimento locale, che i professionisti cercheranno di promuovere per esprimere al meglio la propria professione ... 1.

5. L'archeologia ripercorre la storia dell'umanità

Nei prestigiosi incontri annuali che la Barilla conduce ogni anno per dare risalto ed obiettivi umani alla scienza della nutrizione, pur estesi alla storia dell'alimentazione, non abbiamo avuto modo di ripercorrerli fino a quella dimensione, diciamo pure archeologica, del nostro vivere antico, che il Politecnico di Milano, attraverso un prestigioso *paper* sull'Azerbaijan, ha inteso portare ad ASITA a Colorno, accompagnato dall'impegno ad arredare lo stand che sarà il punto d'incontro di tutti gli interessi specifici che andiamo coagulando, in promettente concerto con Federarchitetti in nome anche del capitolo BEST e della sua IAI. Tutto ciò, portandoci agli estremi confini dell'Impero romano ed a duemila anni di storia pregressa, ci induce a coinvolgere l'**archeologia**, per la quale l'AICA non casualmente ha avviato e garantisce una certificazione dei modelli tridimensionali delle opere che ne fanno la storia.

Ci pare che questo purifichi, per così dire, ulteriormente la cultura dell'incontro di Colorno, che non si può non ricordarlo, ogni anno ad aprile festeggia il giglio come fiore nei suoi giardini che sono considerati i più belli d'Italia, non solo dai florovivaisti più competenti. E si purificano anche di più dalle scorie nucleari, richiamate dalla finitima Caorso.

Ed allora, ancor prima di ricordare due professionisti tecnici eccellenti (Villoresi e Mengoni) andiamo col pensiero a commemorare chi all'archeologia ha dedicato la vita anche in senso fisico: Maria Adelaide Binaghi, che dopo le ricerche a Castelseprio, quelle palafitticole a Monate, e vari altri studi da professionista, si è spenta sette anni or sono, scivolando su un dirupo prospiciente il Monte San Giorgio, oggi doppio patrimonio dell'Unesco, mentre come consigliere comunale della piccola (ma luogo di stabile ritrovo di presidi d'ateneo) Marzio ci avrebbe certamente assistito, professionalmente ed eticamente, in questo sofferto lavoro.

6. Gli esempi testimoniali di Eugenio Villoresi e Giuseppe Mengoni

Se l'etica professionale, come professione della virtù della temperanza, che è moderazione, vuole guidarci nel considerare esempi di persone che possono farci riflettere sull'impegno espresso nel modo di lavorare, quindi incoraggiare studi correlati, possiamo rifarci ad Eugenio Villoresi soprattutto per la risorsa idrica (prima emergenza planetaria) alla quale lui ha dedicato l'intera vita, il sacrificio anche estremo in termini finanziari per la professione, privando di risorse la stessa sua famiglia. E certamente Colorno è la sede geograficamente adatta per questa rimembranza, e la Reggio di Colorno può ricordarci anche la Villa Reale di Monza, nel cui parco Villoresi visse bambino (dopo esservi nato) ed imparò la futura professione già accompagnando il padre, deputato custode dei giardini per la loro conservazione e per incarico di famiglie regali

E così, per venire al cuore dell'insubrica Milano, pensando ancora al 2015, ricordare Giuseppe Mengoni che progettò e procurò di fare finanziare la Galleria, centrale e regale, Vittorio Emanuele, collegamento fra le migliori piazze milanesi (Scala e Duomo) ... fino a caderne dall'impalcatura nel

giorno dell'inaugurazione. Ed i 150 dell'unità d'Italia favoriscono questa memoria della nostra storia. Ma il Mengoni, nato e laureato in Emilia, sviluppò anche molti progetti nella Regione dalla quale ora lo vogliamo ricordare; e per mezzi di trasporto diversi ...

E la **temperanza** si sostanzia sulla base della tecnologia.

7. L'archeologia conduce alla paleontologia

Per debellare lo sfilamento della cultura di oggi, in nome delle libere professioni interagenti possiamo ispirarci agli insegnamenti che ci vengono dagli scienziati di Erice, interpretati dalla tecnologia e dal raggruppamento del sillabo, ma anche sospinti dalle decisioni, recenti o recentissime dell'Unesco, quindi alla triangolazione fra **geomatica**, cioè geografia satellitare; difesa da malattie, oggetti cosmici e minacce militari, cioè **umanitaria** come storia della civiltà fino all'archeologia; ma anche **naturalistica**, cioè quelle scienze ispiratrici del benessere che ora dobbiamo cercare di portare a tutti gli indigenti della terra per combattere un altro, e forse anche più severo ed incosciente, olocausto. E, per farlo in coerenza con la nostra scelta della retrospizione, portarci dall'archeologia della storia alla paleontologia delle scienze naturali, che ci ricondurrebbero anche a centinaia di milioni di anni or sono. Sia guardando sotto il Castello di Lerici, sia osservando il Ceresio ed il Monte San Giorgio come Maria Adelaide Binaghi ...

E tra le tre discipline derivanti dal sillabo e dall'accorpamento delle classi di emergenze planetarie c'è un'interazione profonda, che abitualmente chiamiamo **interoperabilità**. Risparmiando sulle risorse destinate agli ingenti investimenti militari, possiamo pensare ad altrettanti e massicci investimenti verso il sud del mondo, dove la sete (acqua) e la denutrizione (cibo) sono letali; dove la deforestazione per l'ecocidio bovino depauperava incredibilmente la terra tutta (suolo), giusto per rifarci alle tre prime classi di emergenze della naturalistica.

E la geomatica di Colorno deve orientarci verso un monitoraggio che ben ci assista in questi anni, ogni anno, verso una prima tappa positiva (2015, Milano) ma lasciando anche per dopo un'impronta che faccia sì che i nostri discendenti che ci hanno dato il pianeta in prestito, riconoscano che abbiamo almeno frenato la **degenerazione** che è il più grosso limite allo sviluppo (la sesta classe di emergenze) e la quarta che il nostro sillabo scarica sulla nostra naturalistica ... per tentare di sopperire all'olocausto

Confidiamo che, assistiti dalla temperanza, virtù cardinale di una moderazione negletta, possiamo pensare in tutti i cenacoli professionali che sapranno capirci e seguirci, di far qualcosa di positivo su questo percorso appena tracciato. La storia della Reggia di Colorno e la naturalistica dei suoi giardini, da visitare in aprile ad ogni anno per festeggiare la purezza del giglio, ce ne hanno offerto l'occasione del 2011.

TiMatOnGIS: un acronimo per un approccio Crowd-Cloud allo sviluppo turistico

Viviana Lanza, Lucia Tilio, Francesco Scorza, Beniamino Murgante

Università degli Studi della Basilicata, Viale dell'Ateneo Lucano 10
Tel. e Fax 0971/205127, {nome.cognome}@unibas.it

Riassunto

Sebbene, negli ultimi anni si sia tentato, con molti sforzi, di sfruttare il potenziale delle ICT per lo sviluppo del turismo, si nota, navigando in rete, come in molte esperienze e servizi disponibili on-line sia scarsa la possibilità di interazione tra operatori del settore, turisti e cittadini stessi, ed in concreto vengano soltanto fornite informazioni di carattere turistico in analogia con quelle che si trovano in genere sulle tradizionali guide cartacee. La possibilità di essere sempre connesso e la disponibilità di strumenti quali Tablet Pc e Smartphone, tuttavia, rende ancora più semplice per un turista affidarsi a servizi che in tempo reale forniscano informazioni su un luogo, ed interagire con altri utenti del servizio o con gli operatori stessi. Nel tentativo di riempire il vuoto di servizi di questo tipo, è partita a Matera, città ad alta vocazione turistica, patrimonio dell'UNESCO e set cinematografico sempre più richiesto, la sperimentazione di un approccio di tipo *volunteered*, con l'obiettivo di mappare i servizi turistici e raccogliere le relative informazioni, condividendole attraverso un servizio GIS-Cloud. I dati, collegati ad altre informazioni nel web, come film, foto, Wikipedia etc, rappresentano una sorta di mini-portale locale per lo sviluppo del turismo, dall'acronimo "**TiMatOnGIS**": *Tourism in Matera On Geographic Information System*.

Abstract

Although, in the last years, it has been attempted to adopt ICT for tourism development, it is possible to verify surfing on the web that projects and services available on-line generally do not allow interaction between operators, tourists and citizens, but simply supply information as on the traditional paper guides. However, the possibility to use internet to stay always connected and the spread and use of tools such as tablet PCs and Smartphone, makes it even easier for tourists rely upon services that provide real-time information about a place and interact with other users and operators. In order to supply an interactive service, it has started in Matera (that is a town with high touristic potentialities, UNESCO heritage and finally movie set more and more requested) the experimentation of an *Volunteered* approach with the aim of mapping the tourist services and collect information about them, to share through a GIS-Cloud service. Data are connected to other information on the web, such as movies, pictures, Wikipedia, etc., creating a sort of mini-portal for local tourism development, with the acronym "**TiMatOnGIS**": *Tourism in Matera On Geographic Information System*.

1. Introduzione

Nonostante sia sempre più diffusa e condivisa l'idea che il turismo rappresenti un settore importante e trainante per lo sviluppo economico di molte realtà, ancora non se ne sfruttano a pieno le potenzialità. Le sinergie tra agenzie del settore ed Enti Locali coinvolti nella fornitura di servizi turistici sono ancora deboli e purtroppo non sembrano giovare delle grandi possibilità fornite dalle nuove tecnologie disponibili. La gestione del turismo, dunque, rimane principalmente ancorata ad un approccio tradizionale, basato sulla diffusione di informazioni, sia in forma digitale che cartacea,

ma che in genere non consentono di sfruttare tutte le applicazioni disponibili per dispositivi quali Smartphones e Tablet Pc, e che si basano sull'interazione tra gli utenti.

Perché, dunque, le agenzie per lo sviluppo turistico investono ancora risorse nella produzione di bellissime ed accattivanti guide stampate, senza mettere gli stessi dati su un sito web? Perché queste stesse agenzie non implementano un sistema per raccogliere tutte le informazioni turistiche, tradotte in più lingue, a disposizione su Wikipedia? Perché non condividono foto e video grazie agli innumerevoli servizi, in genere anche gratuiti (o parzialmente tali) come Flickr, Panoramio, YouTube e Vimeo? E' nel tentativo di rispondere a questa domanda che tale ricerca ha preso avvio, portando alla sperimentazione di un servizio per la città di Matera.

Negli ultimi anni, inoltre, i costi di viaggio sono diminuiti in modo significativo, cosicché i flussi turistici sono aumentati, ed intorno ad essi oggi si osserva anche uno sviluppo del marketing territoriale. Tuttavia, non sempre questo si avvale delle tecnologie disponibili, ma spesso rimane limitato alla diffusione di guide turistiche tradizionali, che gli utenti magari comprano all'ultimo minuto prima di intraprendere il loro viaggio, spesso in aeroporto o addirittura sul luogo da visitare, con il rischio di non trovare la versione nella loro lingua madre.

È, pertanto, importante integrare i tradizionali approcci per la promozione del turismo con tutte le possibili piattaforme web, accessibili ovunque.

In "**TiMatOnGIS**" (*Tourism in Matera On Geographic Information System*) è stato adottato un approccio di tipo *volunteered* nella mappatura di tutti i servizi turistici e delle informazioni correlate. Tutti i dati relativi al patrimonio culturale, ai servizi, ai trasporti, ecc sono stati raccolti in modo volontario e spontaneo da ricercatori, studenti e cittadini, e sono stati poi condivisi utilizzando un servizio web di tipo Cloud-GIS. Questi dati sono stati, inoltre, collegati ad altre informazioni già esistenti sul web, come ad esempio filmati, immagini, Wikipedia, documentazioni storiche, ecc, costituendo così un mini-portale locale per lo sviluppo del turismo.

2. Un approccio di tipo Volunteered

L'approccio di tipo *volunteered*, adottato in TiMatOnGIS, si basa su un metodo partecipativo e consente di raccogliere informazioni di natura diversa grazie al contributo volontario di chiunque desideri partecipare. La collaborazione volontaria consente di acquisire informazioni che, probabilmente, nessun ente riuscirebbe a raccogliere a causa della continua insufficienza di risorse disponibili. Al tempo stesso, la validazione delle informazioni raccolte dovrebbe avvenire grazie al controllo che ciascun membro della comunità può esprimere.

Questo approccio conduce al "crowdsourcing" (Goodchild, 2009; Howe, 2006), in cui le organizzazioni o le società esternalizzano la produzione utilizzando una collaborazione di massa, nota appunto come "*Volunteered Geographic Information*" (Goodchild, 2007), dove larghi gruppi di persone creano, gestiscono e diffondono dati spaziali (Sui, 2008), in risposta ad una open call¹.

L'adozione di un approccio *crowd* e *volunteered* in un contesto legato a dati spaziali è quello che ha condotto al concetto di "*Neogeography*" (Turner, 2006; Hudson-Smith et al., 2009), che vede dati spaziali prodotti da utenti non esperti, che, grazie all'uso di applicazioni intuitive, riescono a realizzare delle mappe, ad aggiungere dei contenuti multimediali, a localizzare delle foto e dei video (si parla allora di geo-tag), fino ad ottenere mappe di base, come quelle fornite da OpenStreetMap, che consentono anche di superare i limiti troppo spesso imposti dalle Pubbliche Amministrazioni, restie a condividere le informazioni che producono e possiedono.

È, inoltre, importante sottolineare come spesso la riduzione di finanziamenti, associata all'aumento della disponibilità di dati, ha portato le amministrazioni a possedere enormi set di dati, senza avere tuttavia la possibilità di controllarne la qualità né di aggiornarli. Purtroppo, poi, è molto frequente

¹ Howe fornisce la seguente definizione di crowdsourcing sul suo blog (www.crowdsourcing.com, ultimo accesso Settembre 2011): Crowdsourcing is the act of taking a job traditionally performed by a designated agent (usually an employee) and outsourcing it to an undefined, generally large group of people in the form of an open call.

che gli Enti Locali non condividano i dati in loro possesso, ancor più frequente se si tratta di dati spaziali, così che spesso è necessario farsi carico della produzione di alcune informazioni spaziali, in genere costose, senza sapere che esse sono già state prodotte, o comunque non potendone usufruire per ragioni di licenza.

Il primo tentativo di risolvere questo problema è arrivato con l'Executive Order 12906 (1994), "Coordinating Geographic Data Acquisition and Access: The National Spatial Data Infrastructure" (NSDI), imposto dagli Stati Uniti alle agenzie americane, alle organizzazioni ed agli enti locali, con il risultato di una enorme ottimizzazione delle risorse. In Europa, la direttiva INSPIRE, nata con l'obiettivo di guidare i Paesi Membri verso la costruzione di una infrastruttura di dati spaziali europea, non ha raggiunto gli stessi risultati, a causa da una parte dell'inerzia dei Paesi Membri nell'applicazione della direttiva, e dall'altra della burocrazia europea, talmente stringente da aver reso molto complessa anche l'articolazione della direttiva stessa, scoraggiando le istituzioni che devono applicarla.

Ad ogni modo, sebbene l'introduzione delle Infrastrutture di Dati Spaziali abbia contribuito fortemente all'aumento della condivisione dei dati, oggi si assiste ad una nuova rivoluzione, legata alla possibilità di produzione volontaria di dati geografici ed alla grande varietà di servizi ed applicazioni gratuiti per la gestione dei dati stessi. Se dunque le SDI continueranno ad essere sviluppate dalle grandi organizzazioni, mantenendo alta la qualità dei dati raccolti ed armonizzati, gli Enti Locali probabilmente si spingeranno sempre più verso soluzioni *cloud*, che consentono di abbattere i costi di immagazzinamento dei dati, non richiedono in genere l'installazione di software proprietari, ma si basano su software open source.

Inoltre, il grande vantaggio di queste soluzioni è la possibilità di integrare i dati di Google, i servizi OGC (come ad esempio i WMS, WFS, ecc), i dati OpenStreetMap e così via, con tutti i dati prodotti dalle Amministrazioni stesse o raccolti grazie al *crowdsourcing*. Altro punto di forza è la possibilità di fare un *Mash-up* dei dati spaziali con tutte le informazioni possibili a disposizione sui siti web (ad esempio immagini, video, descrizioni, ecc.).

3. Il caso studio: TiMatOnGIS

TiMatOnGIS è nato quando, googlando la parola "turismo", nel tentativo di comprendere quale tipo di approccio fosse adottato per potenziare il settore, è venuto fuori che, esclusi i primi risultati di Wikipedia o pagine simili, in cui si parla dell'argomento "turismo", con qualche dato statistico sul settore, il termine conduce a portali informativi (i paesi asiatici presentano il rank più alto).

La navigazione all'interno di tali portali è stata condotta in relazione ai quattro criteri di sharing, social, decision and mapping identificati da Lanza e Prosperi (2009): l'idea che ci ha guidato, infatti, è stata che non solo nel caso della pianificazione i cittadini abbiano bisogno di interagire e partecipare, ma che anche nel settore del turismo la possibilità di interagire con le informazioni che si ricercano può dare valore aggiunto al turismo stesso e rappresentare un forte miglioramento della qualità del servizio erogato. La tabella seguente mostra schematicamente i risultati dell'analisi condotta: quasi nessun portale eroga servizi di tipo social, ma si limita a fornire informazioni. L'interazione dunque è pressoché nulla: in generale, sono riportate le informazioni sui luoghi, vengono indicati collegamenti ad altri siti (a volte vi è la possibilità di accedere a Facebook), e in pochissimi casi c'è la possibilità di interagire con altri sistemi o altri utenti. In nessun caso i portali si presentano come strumenti di supporto alla decisione, ma soltanto come vetrine con prodotti in vendita.

Tuttavia, riteniamo che i turisti - che possono essere intesi come cittadini del mondo - apprezzino la possibilità di interagire e non solo ricevere informazioni senza la possibilità di poter fare osservazioni e commenti. Progettare servizi web per turisti con una forte componente di interazione, dunque, potrebbe rappresentare un'opportunità per lo sviluppo turistico del settore, migliorando la qualità dei servizi forniti, ed aumentando in maniera significativa l'ampiezza del pubblico che si può raggiungere.

<i>Paese</i>	<i>Sito web</i>	<i>Social Tools</i>	<i>Sharing Tools</i>	<i>Mapping Tools</i>	<i>Decision Tools</i>
Malesia	www.tourism.gov.my	✓	✓	✓	
India	www.incredibleindia.org		✓		
Australia	www.tourism.australia.com		✓		
Filippine	www.tourism.gov.ph		✓		
Pakistan	www.tourism.gov.pk	✓	✓		

Tabella 1 – Analisi dei siti web con il più alto rank nella ricerca della parola chiave “turismo” in Google, secondo i criteri di Lanza, Prosperi (2009).

D'altra parte, oggi è possibile passeggiare virtualmente tra le opere esposte al Moma di New York o agli Uffizi di Firenze, con servizi come GoogleArtProject (<http://www.googleartproject.com/>), e probabilmente questo non solo consente a tutti di arrivare in quei luoghi (in modo gratuito, peraltro), ma forse potrebbe essere sfruttato in modo integrato con altri servizi al turista reale, il cui viaggio comincia molto prima di arrivare fisicamente nel luogo oggetto di visita.

La diffusione di Smartphone e Tablet pc, inoltre, rende la connessione al web alla portata di tutti in qualunque posto essi si trovino, e, dunque, la predisposizione di un pacchetto combinato di servizi al turista sul web può contribuire anche ad aumentare il livello di qualità del servizio turistico erogato: se fino a qualche anno fa per avere un'informazione era necessario aspettare che lo sportello informazioni turistiche fosse aperto, e che l'addetto di turno fosse competente e parlasse la lingua del turista, oggi è possibile interrogare un sistema on-line ed acquisire le informazioni ricercate in tempo reale ed in qualunque luogo. Non soltanto: l'esperienza che si acquisisce può venir trasferita e condivisa con gli altri, contribuendo così a migliorare il sistema, che si arricchisce sia in termini di quantità di informazioni raccolte che in termini di qualità delle stesse, soggette al controllo dalla comunità

Ecco perché nasce TiMatOnGIS, che si presenta come un servizio innovativo per lo sviluppo turistico della città di Matera.

Il sistema progettato è basato, quindi, sull'idea che oggi la quantità di informazioni disponibili sia elevatissima e fortemente dispersa; l'obiettivo assunto è stato dunque quello di far convergere gli sforzi verso il recupero delle informazioni, in un tentativo di mettere a sistema in modo coerente quelle importanti dal punto di vista del turista, collegando al servizio principale, un GIS su piattaforma *cloud*, strumenti web 2.0 per l'integrazione delle informazioni e per porre le basi all'interazione tra turisti, cittadini e operatori del settore, contribuendo al continuo processo di costruzione della conoscenza, sia derivante da esperti di un settore specifico, e dunque “esperta”, sia da quella derivante da esperienze concrete di non esperti, come i cittadini ed i turisti, e dunque “esperita”.

3.1 TiMatOnGIS: overview

TiMatOnGIS è l'acronimo di *Tourism in Matera On Geographic Information System*. Rappresenta il pacchetto degli strumenti del web 2.0 basati sul *cloud*, progettato per offrire un servizio per i turisti che vogliano visitare il territorio materano. In particolare, TiMatOnGIS si basa sulla piattaforma GISCLOUD², un servizio gratuito di WebGIS. TiMatOnGIS è, quindi, una banca dati

² <http://www.giscloud.com/>

geografica, che offre ai turisti informazioni gratuite, in inglese, relative al territorio della città di Matera e consente loro sia di esprimere delle opinioni in merito quanto è già mappato, sia di contribuire all'acquisizione di ulteriori contenuti.

Nell'ottica di integrare l'uso di una *volunteered geography* e gli strumenti del web 2.0, TiMatOnGIS ha più *accounts*: è presente su Twitter (<http://twitter.com/#!/timatongis>), la più famosa piattaforma di micro-blogging, YouTube (<http://www.youtube.com/user/TiMatOnGIS?feature=mhee#p/f>), per i contenuti video, FlickrR (<http://www.flickr.com/photos/61455771@N05/>) e Panoramio per le foto, ed ha anche su una pagina su Facebook (<http://www.facebook.com/pages/TiMatOnGIS/165925216794764>).

Il progetto è nato come una sperimentazione didattica all'interno del gruppo di ricerca del Laboratorio dei Sistemi Urbani e Territoriali (LISUT) dell'Università degli Studi della Basilicata, come applicazione concreta della consapevolezza dell'importanza delle informazioni geografiche e della necessità di renderle condivise ed accessibili a tutti. Per questa ragione, TiMatOnGIS è destinato a tutti quegli utenti interessati che possono contribuire a migliorare il servizio, siano essi degli operatori turistici, dei cittadini, delle amministrazioni, o dei turisti stessi. In primo luogo, ad ogni modo, si ritiene che gli operatori potrebbero fortemente beneficiare del servizio erogato, grazie alla visibilità che viene data attraverso le mappe ai loro prodotti, che siano hotel, ristoranti etc.

Dal momento in cui è stato creato, TiMatOnGIS è disponibile in qualunque momento della giornata, semplicemente accedendo alla pagina principale (<http://www.giscloud.com/map/11766/tourism-in-matera-on-geographic-information-system>).

3.2 Il processo di costruzione della conoscenza

Nella convinzione che, come accennato in precedenza, la conoscenza sia acquisita in un processo mai completo, ma in continuo divenire, e sulla base del concetto di conoscenza *esperta* e conoscenza *esperita* (Lanza, Tilio 2010), siamo convinti che la conoscenza non abbia una "data di scadenza": non è infatti mai possibile raggiungere un livello di conoscenza che possa definirsi perfetto e completo. Adottando il concetto di razionalità limitata di Simon (1947), infatti, possiamo affermare che la conoscenza è incrementale, e dunque l'approccio adottato per la acquisizione delle informazioni mappate in TiMatOnGIS rappresenta proprio un processo di costruzione della conoscenza. Tale processo ciclico può essere schematizzato in cinque fasi principali, come illustrato nella figura 1.



Figura 1 – Schema del processo di costruzione della conoscenza.

Il primo passo importante nella costruzione della conoscenza è la sua acquisizione. In accordo con i principi dell'Executive Order 12906 e della direttiva INSPIRE, prima di produrre qualunque tipo di informazione, si è cercato di acquisire i dati cercando di ottenere il "miglior risultato con il minimo sforzo", utilizzando dati esistenti. Le informazioni di base sono state ottenute consultando il Portale

Cartografico Nazionale del Ministero dell'Ambiente (<http://www.pcn.minambiente.it/NCP/index.php?Lan=it>), il quale promuove e divulga l'uso del GIS, fornendo l'accesso alle informazioni ambientali riguardanti il territorio a livello nazionale. Altre informazioni spaziali sono state invece ottenute consultando il portale POIGPS (<http://www.poigps.com/>), che raccoglie e pubblica i dati riguardanti i principali punti di interesse dei territori, basandosi su un approccio di tipo *volunteered*, e dunque sul contributo della sua stessa comunità.

Le informazioni acquisite sono state sistematizzate ed armonizzate tra loro, talvolta con alcune semplici elaborazioni, talvolta limitatamente ad operazioni di visualizzazione, talvolta ricorrendo alla costruzione di mash-up (Hudson-Smith et al., 2009).

Nella prima fase, appena conclusa, l'acquisizione delle informazioni è avvenuta grazie al contributo volontario di alcuni studenti coinvolti nella sperimentazione. Dunque, fino ad ora, è stato effettuato un controllo della qualità delle informazioni raccolte, inserite da utenti esperti. Nella seconda fase della sperimentazione si chiederà agli utenti non esperti di contribuire a migliorare la conoscenza acquisita, arricchendola sia in riferimento alle informazioni raccolte, sia ai contenuti legati a quelle già mappate. Questa fase rappresenterà dunque la concretizzazione dell'integrazione e dell'interazione di cui si è parlato.

4. Il blog di TiMatOnGIS

La scelta del BLOG come strumento di condivisione deriva dalla necessità di garantire ai cittadini le "tre i": informazione, integrazione ed interazione con il mondo, ed in particolare, con il mondo 2.0, e far in modo che sia sempre ben informato, in questo caso, sul turismo a Matera.

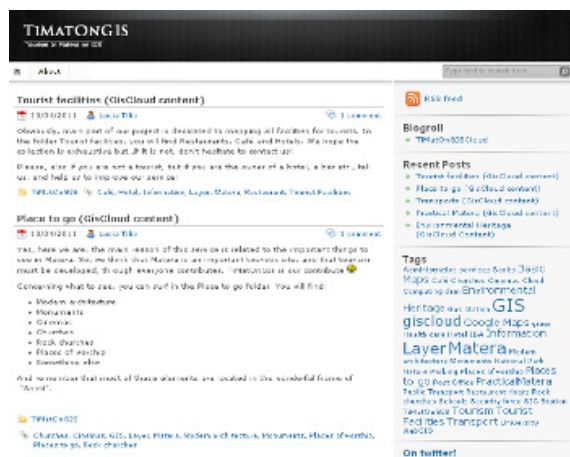


Figura 2 – Il BLOG di TiMatOnGIS (disponibile all'indirizzo <http://timatongis.wordpress.com/>).

Il BLOG, disponibile all'indirizzo <http://timatongis.wordpress.com/>, consente agli utenti di partecipare attivamente attraverso i commenti, raccogliere tutte le informazioni e gli eventi riguardanti il turismo a Matera, stimolare il dialogo tra gli operatori turistici, imprenditori minori, commercianti, e turisti (o semplicemente cittadini) stessi. Leggendo i messaggi, chiunque può essere continuamente aggiornato sulla città di Matera: cosa fare, cosa vedere, come muoversi, dove andare, ecc. Inoltre, dal blog si può accedere in modo immediato alla piattaforma GIS, recuperando anche indicazioni sui contenuti mappati ed istruzioni per la navigazione e l'interrogazione delle mappe.

5. TiMatOn"GISCLOUD"

In accordo con gli studi di Evans-Cowley e Conroy (2006), e come Murgante et al. (2011) e Tilio et al. (2009) hanno ribadito successivamente, gli strumenti del Web 2.0, come i siti web, i BLOG ed i WebGIS, rispettivamente, rappresentano strumenti di informazione e interazione, con un livello di partecipazione di tipo "one-way" e "two-way".

In particolare, è possibile ottenere le informazioni geografiche attraverso il nostro WebGIS (<http://www.giscloud.com/map/11766/tourism-in-matera-on-geographic-information-system>), permettendo ad ogni stakeholder di essere informato sul territorio (Murgante et al., 2011). Inoltre, i cittadini possono interagire con i GIS selezionando il tipo di informazioni da acquisire e vedere, e dove l'informazione sia localizzata sul territorio materano. I contenuti principali sono stati organizzati in categorie, come mostrato in figura 3.

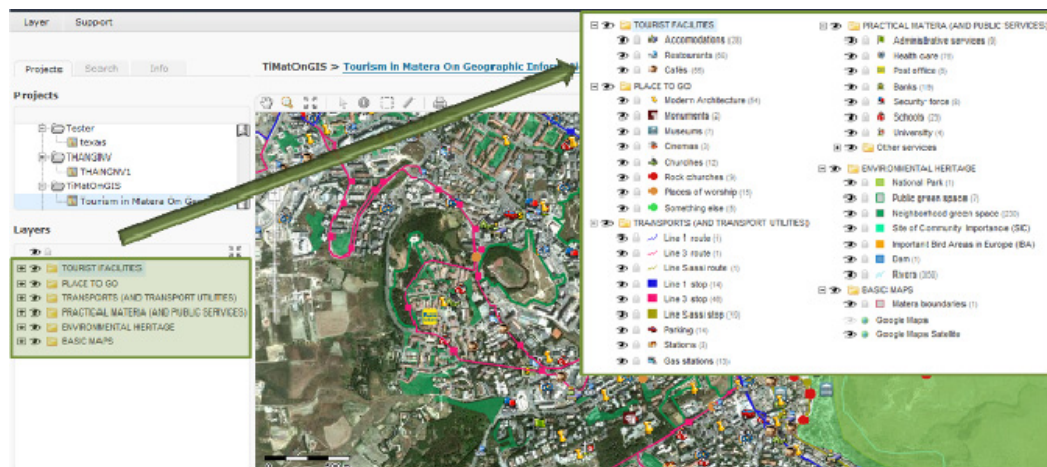


Figura 3 – I contenuti di TiMatOn"GISCLOUD".

Le categorie sono di seguito elencate. Sul blog è possibile leggere degli approfondimenti relativi ai contenuti delle mappe.

1. *Tourist facilities*, dove trovare ristoranti, caffè e alberghi;
2. *Place to go*, dove trovare le cose importanti da vedere a Matera: architettura moderna, i luoghi che sono stati set cinematografici di importanti film, monumenti, cinema, chiese, chiese rupestri, luoghi di culto, ecc;
3. *Transports (and transport utilities)*, dove trovare importanti punti di interesse, come distributori di benzina, stazioni ed autostazioni, parcheggi e le principali linee di trasporto pubblico;
4. *Practical Matera (and public service)*, dove trovare informazioni relative ad alcune strutture di diversa natura (servizi amministrativi, attrezzature sanitarie e ospedaliere, uffici postali, banche, forze dell'ordine, scuole, università, ecc);
5. *Environmental heritage*, per vedere la consistenza del patrimonio ambientale di Matera;
6. *Basic Maps*.

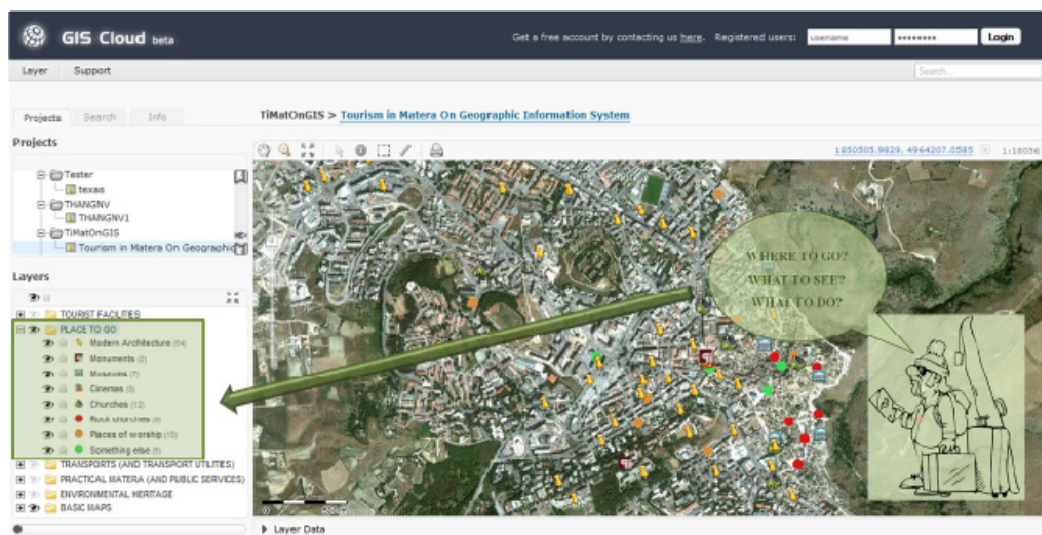


Figura 4 – Screenshot estratti da TiMatOn "GISCLOUD".

Una grande potenzialità del servizio gis-cloud è legata alla possibilità di creare delle *Google Mash-up*. Un Mash-up (Batty et al., 2010) è un sito web o un'applicazione web che unisce ed include dinamicamente informazioni o contenuti provenienti da più fonti, per integrarli e ottenere qualcosa di unico e nuovo (si parla di Google Map Mash-up perché l'applicazione web è fornita e supportata da Google Maps).

Un esempio di Google Mash-up, e quindi di Mash-up che usa Google Maps, si può trovare nei contenuti dello strato informativo "Films shot' place", in cui sono localizzati i luoghi che sono stati set cinematografici di importanti film, come il famoso film "La Passione" o il film "King David", ed i punti sono collegati in maniera dinamica a video, forniti da YouTube, che riproducono appunto le scene del film girate in quel punto. Altri esempi di Google Mash-up si possono trovare anche in altri strati informativi, poiché in ogni punto di interesse c'è un link a Wikipedia, Flickr, YouTube, Panoramio, ecc.



Figura 5 – Esempio di Google Mash-up in TiMatOn "GISCLOUD".

6. Conclusioni e sviluppi futuri

TiMatOnGIS rappresenta un progetto innovativo e low-cost che può diventare occasione e stimolo per gli imprenditori e le amministrazioni locali, mostrando loro come la disponibilità di informazioni e la facilità nel reperirle può essere determinante nella fruizione di un servizio erogato, senza dover dilapidare grandi risorse.

Il progetto, infatti, si basa sull'uso delle mappe di Google come base, e sull'approccio *volunteered* per la mappatura dei servizi connessi al settore del turismo nella città di Matera. Grazie alla disponibilità dei diversi social network collegati, ed all'esistenza di un blog, inoltre, il processo di acquisizione della conoscenza, e dunque di mappatura della città, può essere continuamente migliorato.

La capillarità dei social network può rappresentare un forte contributo al marketing territoriale, diventando lo strumento principale di promozione del territorio, con costi bassi e grande ampiezza del pubblico raggiunto.

Il pacchetto di servizi offerti, inoltre, può ancora crescere. In particolare, si ritiene interessante lo sviluppo della categoria dei decision tools, ad oggi non ancora implementati. Il loro uso, tuttavia, può trasformare l'obiettivo stesso del progetto, facendo in modo che TiMatOnGIS, da portale interattivo per la promozione del turismo diventi portale interattivo in cui discutere su come migliorare i servizi turistici, individuando i punti deboli dell'offerta attuale e le domande non ancora soddisfatte. Affinché questo avvenga, tuttavia, è necessario che enti locali ed operatori collaborino strettamente ed intraprendano azioni concrete per manifestare la loro volontà di adesione al progetto.

Riferimenti bibliografici

Batty M., Hudson-Smith A., Milton R., Crooks A. (2010), "Map Mashups, Web 2.0 and the GIS revolution", *Annals of GIS*, 16: 1, 1 — 13. doi: 10.1080/19475681003700831

Conroy M.M., Evans-Cowley J. (2006), "E-participation in planning: an analysis of cities adopting on-line citizen participation tools", *Environment and Planning C: Government and Policy*, 24, 371–384

Evans-Cowley J., Conroy M.M. (2006), "The growth of e-government in municipal planning", *Journal of Urban Technology* 13(1), 81–107

Goodchild M.F. (2009), "NeoGeography and the nature of geographic expertise", *Journal of Location Based Services* 3, 82–96. doi:10.1080/17489720902950374

Goodchild M.F. (2007), "Citizens as Voluntary Sensors: Spatial Data Infrastructure in the World of Web 2.0", *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research* 2, 24–32, <http://www.doaj.org/doaj?func=abstract&id=245563>

Howe, J. (2006) The Rise of Crowdsourcing, *Wired* 14, 6:1-4

Hudson-Smith A., Crooks A., Gibin M., Milton R., Batty R. (2009), "Neogeography and Web 2.0: concepts, tools and applications". *Journal of Location Based Services*, 3(2): 118-145, Taylor & Francis. doi: 10.1080/17489720902950366

Hudson-Smith A., Milton R., Batty M. and Dearden J. (2008), "The Neogeography of Virtual Cities: Digital Mirrors into a Recursive World". In: Foth, M., (ed.) *Handbook of Research on Urban Informatics: The Practice and Promise of the Real-Time City*. Information Science Reference, IGI Global

Lanza V., Tilio L. (2010), "An Operational Model towards Playful Public Participation". In: Schrenk M., Popovich V., ZEILE P. (eds.), *REAL CORP 2010. Cities for Everyone: Liveable, Healthy, Prosperous; Proceedings of 15th International Conference on Urban Planning, Regional*

Development and Information Society, pp. 65-74. CORP – Competence Center of Urban and Regional Planning, ISBN: 978-39502139-9-7

Lanza V., Prosperi D. (2009), “Collaborative E-Governance: Describing and Pre-Calibrating the Digital Milieu in Urban and Regional Planning”. In: Krek A., Rumor M., Zlatanova S., Fendel E.M. (eds.), *Urban and Regional Data Management*, pp. 273–283. CRC Press, Taylor & Francis, London, ISBN: 978-0-415-055642-2

Murgante B., Tilio L., Scorza F., Lanza V. (2011), “Crowd-Cloud Tourism, New Approaches to Territorial Marketing”. *Lecture Notes in Computer Science* vol. 6783, pp. 265–276. Springer-Verlag, Berlin. ISSN: 0302-9743, doi: 10.1007/978-3-642-21887-3_21

Murgante B., Tilio L., Lanza V., Scorza F. (2011), “Using participative GIS and e-tools for involving citizens of Marmo Platano – Melandro area in European programming activities”, Special issue on: E-Participation in Southern Europe and the Balkans. *Journal of Balkans and Near Eastern Studies* 13(1), 97–115, doi:10.1080/19448953.2011.550809

Simon H. (1947, 1997), “*Administrative Behavior: A Study of Decision-Making Processes in Administrative Organizations*”, The Free Press, New York

Sui D.S. (2008), “The wikification of GIS and its consequences: or Angelina Jolie’s new tattoo and the future of GIS”, *Computers, Environment and Urban Systems* 32(1), 1–5

Tilio L., Scorza F., Lanza V., Murgante B. (2009), “Open Source Resources and Web 2.0 Potentialities for a New Democratic Approach in Programming Practices”, *Lecture Notes in Artificial Intelligence* vol. 5736, pp. 228–237. Springer-Verlag, Berlin. ISSN: 0302-9743 doi:10.1007/978-3-642-04754-1_24

Turner A. (2006), “*Introduction to Neogeography*”, O’Reilly Media, ISBN: 978-0-596-55953-3

Considerazioni sugli aspetti della cartografia topografica italiana pre-unitaria

Lamberto Laureti

Università di Pavia, Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente
Tel. 0382.985858, Fax 0382.985890, laureti@unipv.it

Riassunto

Il presente contributo intende fornire una serie di considerazioni sui caratteri distintivi delle rappresentazioni cartografiche del territorio italiano nel periodo compreso tra l'avvio della cartografia geodetica e la realizzazione dell'unità politica del Paese. Complessivamente l'analisi abbraccia un arco di tempo di circa un secolo (la seconda metà del XVIII e la prima del XIX) limitandosi all'esame della documentazione avente carattere di ufficialità e relativa alle singole entità statali esistenti antecedentemente e posteriormente alla parentesi napoleonica, ma considerando anche la produzione relativa a quest'ultima. La Carta dello Stato della Chiesa di Cristoforo Maire e Ruggero Boscovich (1755) costituirà l'evento di partenza di un processo di evoluzione tecnico-scientifica (sia nelle operazioni di misura e rilevamento topografico che nell'esecuzione e disegno della rappresentazione cartografica) culminato nei primi rilievi ad isoipse della carta topografica napoletana (1834-1860) sui quali si appoggeranno quelli successivi della Carta topografica al 100 mila dell'appena costituito Stato italiano. Tenendo inoltre presente la documentata e magistrale sintesi apparsa nove decenni or sono (1922) ad opera di Attilio Mori, saranno messi in rilievo gli aspetti ancora attuali e comunque significativi di un patrimonio tecnico, scientifico ed artistico che onora la cultura del nostro Paese.

Abstract

This paper intends to express some considerations about the peculiar features of the Italian territory topographic maps, between the beginning of the geodetic surveys and the eve of the political unit of the Country. Altogether the analysis covers a space of nearly a century (the second half of the XVIII and the first one of the XIX) considering mainly the official maps of the single Italian States, before and after the Napoleonic period. The historical process featuring the technical-scientific evolution of the Italian cartography, starting from the map of the Papal States (1755, surveyed by Christopher Maire and Roger Boscovich), will arrive to the first contour lines map of the Neapel Kingdom (1834-1860) upon which the topographical map of the new Italian Kingdom (1861) at 1:100 000 scale was based. Finally, this paper remarks again the more significant of the technical, scientific and artistic heritage of the our Country culture.

Premessa

Precise necessità civili e militari, già nella seconda metà del XVI secolo, suggerivano ai governanti dei vari Stati italiani a dotarsi di una propria cartografia ufficiale ("in parte destinata", come nota il Sestini 1981 "a rimanere riservata o quanto meno chiusa negli archivi"), predisponendo appositi rilievi sul terreno finalizzati alla realizzazione di adeguati documenti grafici. In tal modo la produzione cartografica e specificamente sinottica esce dall'ambito tradizionalmente privato per diventare strumento prezioso per la conoscenza del territorio e quindi appannaggio delle istituzioni centrali di ogni singola entità politica e specialmente dei corpi militari.

Sotto il profilo geometrico i documenti cartografici di questo periodo risentono ancora delle valutazioni empiriche dei singoli rilevatori, stante la difficoltà di calcolare con la dovuta precisione le coordinate geografiche e determinare con esattezza la stessa longitudine, resa possibile più avanti mediante l'uso di cronometri particolarmente precisi. La mancanza di un valido riferimento geografico era del resto una conseguenza dell'impossibilità di procedere ad una misurazione esatta del grado di meridiano. Come è noto, questa fu consentita dal metodo della triangolazione introdotto dall'olandese Willebrord Snellius (1580-1626) nel 1617. In tal modo fu possibile delineare con sufficiente precisione la forma e l'estensione di grandi aree geografiche come quelle su cui insisteva la superficie di uno Stato di medie dimensioni, come la Francia e l'Italia.

Per quanto riguarda il nostro Paese si deve al francese Jean Baptiste Bourguignon d'Anville (1697-1782) la determinazione di una forma abbastanza precisa del territorio italiano tramite la misura della longitudine riferita al meridiano di Parigi e supponendo la Terra sferica. In tal modo egli corresse le imprecisioni contenute nelle carte d'Italia di Guglielmo De l'Isle e di Nicola Sanson. Nella sua opera *Analyse géographique de l'Italie*, pubblicata a Parigi nel 1744, sono allegate due grandi carte alla scala di 1:3 000 000 con le triangolazioni effettuate e con le differenze di forma rispetto alle carte degli altri due cartografi. Secondo il Cavicchi (1025), quella di d'Anville "*E' la vera radicale riforma, dopo 16 secoli*", cioè dopo la redazione delle prime carte tolemaiche che avevano fatto sentire la loro influenza fin oltre l'età rinascimentale. Da allora in poi le carte dell'Italia intera pubblicate nei vari paesi europei si ispireranno a quella del d'Anville. Così anche quelle, ad esempio, del Rizzi Zannoni in due fogli e alla scala di circa 1:2 milioni (1771) e del Cassini (1793) in 15 fogli e alla scala quattro volte superiore

La cartografia negli Stati della Chiesa

Nella seconda metà del XVIII secolo, con l'intensificarsi delle operazioni geodetiche di precisione (misure di archi di meridiano, triangolazioni, ecc.) che della costruzione di più perfezionati strumenti per le osservazioni astronomiche e per le misure terrestri, cominciano ad effettuarsi i primi rilievi per la realizzazione di carte topografiche e corografiche dei vari Stati italiani.

Come scrive il Mori (1922), "Lo Stato Pontificio ebbe il merito di iniziare, primo fra gli stati italiani, regolari operazioni di carattere astronomico-geodetico con intenti scientifici generali e, ad un tempo, con applicazioni e risultanze cartografiche. La rappresentazione cartografica generale dello Stato rimaneva ancora, alla metà del secolo XVIII, quale il Magini aveva data un secolo e mezzo prima" nella sua carta d'Italia (1600). Per colmare le vistose lacune relative alla conoscenza fisica del proprio territorio, il governo della Chiesa incaricò nel 1750 il gesuita Ruggero Boscovich, professore di matematica al Collegio Romano, di eseguire apposite misure geodetiche insieme con un altro gesuita, l'inglese Cristoforo Maire. Esaurita la fase preparatoria con la misura dell'arco di meridiano fra Roma e Rimini, il tracciamento di due basi ai suoi estremi e di una rete trigonometrica di 9 triangoli, le operazioni si conclusero nel giro di cinque anni con la pubblicazione di una grande carta in tre fogli alla scala di 1:375 000. La realizzazione di questa carta, definita dal Mori (1922) "la prima carta parziale d'Italia, costruita in base a quelle operazioni scientifiche che della cartografia sono il fondamento", secondo lo Schiaparelli (citato di seguito dal Mori) "cangiò d'un tratto tutto l'aspetto delle carte geografiche dell'Italia Centrale". E ancora il Mori conclude che "Essa segna pertanto il principio di una nuova era nella storia della cartografia italiana". (Fig. 1)

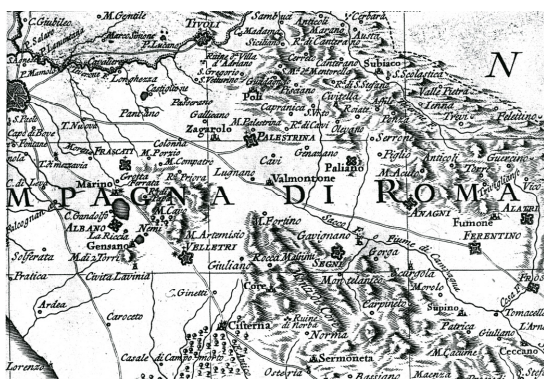


Figura 1 – Stralcio della Nuova Carta dello Stato Ecclesiastico di PP. C. Maire e R. Boscovich, alla scala originale di 1:375 000. Calcografia Pontificia, Roma 1755. L'area rappresentata comprende un tratto della Campagna Romana a sud est della capitale, In basso a sinistra un tratto del litorale tirrenico.

Dopo la sua pubblicazione ad opera della Calcografia Pontificia, solo nella prima metà del XIX secolo vennero eseguiti modesti rilievi topografici e catastali che condussero alla compilazione di una *Carta del Suburbano di Roma* alla scala di 1:15 000 e un'altra della città e dintorni alla scala di 1:25 000 (ad opera del barone Helmuth von Moltke, 1845-1846).

Nello stesso periodo i territori ecclesiastici vennero rilevati topograficamente dall'Istituto Geografico Militare di Vienna che nel 1851 pubblicò la nuova *Carta Topografica dello stato Pontificio e del Granducato di Toscana* alla scala di 1:86 400 in 52 fogli. Nel 1856 infine il *Depôt de la Guerre* di Parigi pubblicava una *Carte de la partie sud-ouest des États de l'Eglise* alla scala di 1:80 000 in 3 fogli con altimetria a tratteggio.

La cartografia dei territori sotto il dominio sabaudo

Fin dal 1738 si era attivato a Torino, come riferisce il Cantile (2007), “un Corpo degli Ingegneri Topografi” da cui scaturì “la creazione della prima istituzione cartografica italiana: l'Ufficio Topografico Sardo poi confluito nel Corpo di Stato Maggiore Generale. Agli inizi del XIX secolo il Regno sabaudo disponeva di una copertura del proprio territorio (Sardegna esclusa) costituita da un rifacimento della vecchia “Carta di Madama Reale” eseguita tra il 1673 e il 1680 da Giovanni Tommaso Borgonio in 15 fogli alla scala approssimativa di 1:190 000 (*Carta Corografica degli Stati di S. M. il Re di Sardegna*, data in luce dall'Ingegnere Borgonio nel 1683 corretta ed accresciuta nell'anno 1772). (Fig. 2)



Figura 2 – Stralcio della Carta Corografica degli Stati di S. M. il Re di Sardegna di G. T. Borgonio, alla scala originale di 1:190 mila circa in 15 fogli, Torino 1683. L'area rappresentata comprende un tratto della valle del fiume Taro, allora sotto il dominio sabaudo.

Tale rifacimento, ampliato e inciso da Giacomo Stagnone, tra il 1763 e il 1772, era costituito da 12 fogli, privi tuttavia di un preciso riferimento geometrico (Mori 1922). In condizioni ancor più precarie era la Sardegna per la quale esisteva una modesta carta disegnata dal Rizzi Zannoni (1810) alla scala di 1:380 000 in base alle sommarie osservazioni del padre Tommaso Napoli. La sostituzione della vecchia carta del Borgonio con una nuova a scala maggiore e geometricamente affidabile venne effettuata dopo circa 80 anni. Infatti, l'Ufficio Topografico dello Stato Maggiore

dell'Esercito Sardo, tra il 1816 e il 1830 aveva provveduto ad un nuovo rilevamento che si concluse con la realizzazione dei 113 fogli (sezioni) della nuova *Carta Topografica degli Stati di Terraferma di S. M. il Re di Sardegna*, alla scala di 1:50 000. Da essi fu ricavata per riduzione, nel 1841, una carta al 250 mila in 6 fogli, di eccezionale finezza esecutiva, e solo tra il 1851 e il 1859 vennero pubblicati 86 dei 91 fogli al 50 mila che prevedeva l'edizione a stampa litografica, disegnata in proiezione di Flamsteed con altimetria a tratteggio e lumeggiamento obliquo. (Fig. 3)



Figura 3 – Stralcio della Carta topografica degli Stati di S. M. il Re di Sardegna alla scala originale di 1:50 000. (foglio LXV, 1852).

La figura comprende la cittadina di Fossano (Cuneo) posta su un terrazzo sovrastante il fiume Stura di Demonte.

Tra il 1838 e il 1840 anche la Sardegna fu dotata, grazie ai rilievi di Alberto Ferrero Della Marmora, di una copertura cartografica alla scala di 1:250 000 in due fogli (*Carta dell'Isola e Regno di Sardegna*, Torino, 1845) subito seguiti dai lavori di rilevamento per una carta al 50 mila, ad opera del Maggiore Carlo De Candia, che si compose di 49 fogli che però non vennero mai pubblicati. Ufficiale dell'esercito sabauda, il Della Marmora già nel 1819 si era recato in Sardegna per studi naturalistici; dopo i moti del 1821 fu confinato sull'isola dove si fermò anche dopo la riammissione in servizio. Incaricato di approntare una carta mineraria della Sardegna, fu gioco forza rilevarne ex-novo anche la topografia, essendo del tutto insufficiente allo scopo la vecchia carta del padre Tommaso Napoli. (Fig. 4)



Figura 4 – Stralcio della Carta dell'Isola e Regno di Sardegna alla scala originale di 1:250 000 di Alberto Ferrero Della Marmora, Torino 1845.

L'area rappresentata comprende un tratto della costa occidentale con il golfo di Alghero e la penisola di Capo Caccia. Nella fascia della acqua litoranee sono riportate numerose quota batimetriche.

Nello Stato sabauda, quello cui più si modellò il nuovo Stato nazionale, l'attività cartografica rappresentò, dunque, un portato del consolidamento e sviluppo dell'istituzione burocratica e militare che aveva raggiunto nel campo del rilevamento cartografico la sua perfezione già in occasione delle operazioni di perequazione catastale del Settecento e della cartografia militare del periodo carloalbertino (Si veda in proposito il recente saggio promosso dalla Regione Piemonte: Maria Sandra Poletto, *Cartografia storica*, Ed. Artistica Piemontese, Asti 2004, che dedica una particolare attenzione alla nascita e allo sviluppo della scuola cartografica sabauda.)

La cartografia durante il periodo napoleonico

Alla vigilia dell'unificazione la situazione cartografica del Paese risultava alquanto disarticolata ed eterogenea, anche se, già all'inizio del secolo XIX l'intero territorio italiano, dalle Alpi alla Sicilia, insieme con alcune aree finitime, era compreso nella grande carta (scala 1: 256 000 circa), che il francese Louis Albert Ghislain Bacler Dalbe, *Chef des Ingenieurs Géographes del Dépôt de la Guerre* e Capo dell'Ufficio Topografico funzionante presso il Comando dell'Armata durante la campagna d'Italia, aveva compilato su incarico di Napoleone per illustrare le sue campagne militari sul suolo italiano, assemblando tutto il materiale allora disponibile (*Carte Générale du Théâtre de la Guerre en Italie et dans les Alpes, depuis le passage du Var le 29 septembre 1792 et jusqu'à l'entrée des Français à Rome le 22 pluviôse, an 6 Républicain, avec les limits et divisions des nouvelles Républiques*, Milano-Parigi, 1799-1802.) Il risultato, costituito da un insieme di 54 fogli alla scala di 1:259 000, incisi a Milano dai Fratelli Bordiga e stampati parte a Milano e parte a Parigi presso il *Dépôt Générale de la Guerre*, fu però, per molti versi, assai modesto, specie per il divario tra la rappresentazione delle regioni settentrionali (30 fogli), assai dettagliata (nella toponomastica e nella viabilità) e dall'incisione particolarmente accurata, e quelle centro-meridionali (24 fogli) disegnate in modo sommario. Interessanti sono invece i tematismi, specie di carattere militare, come luoghi di battaglie, dislocazioni di reparti e di batterie, ma anche di miniere, fonderie, sorgenti minerali, ecc. (Fig. 5)



Figura 5 – Stralcio della Carta del Teatro della Guerra in Italia e nelle Alpi di Bacler D'Albe (Foglio XVI), alla scala originale di 1:259 000, relativo a un tratto della Riviera di Ponente e della Costa Azzurra con i relativi entroterra.

Sempre a Milano, nel 1801, sotto il dominio napoleonico, fu istituita una dipendenza del francese *Dépôt de la Guerre* con annesso anche un Ufficio Cartografico che provvide, con il supporto degli astronomi di Brera, a proseguire le operazioni di triangolazione fino a Rimini e a Roma. Ad esso si deve la realizzazione della *Carta militare del Regno d'Etruria e del Principato di Lucca* alla scala di 1:200 000, disegnata e incisa da Gaudenzio Bordiga (si veda più avanti).

La cartografia meridionale

Ancora alla metà del XVIII secolo la cartografia delle regioni meridionali dell'Italia restava ancorata alla vecchia carta di Antonio Bulifon (1692), poi ristampata dal nipote Luigi (1734). L'avvio del suo rinnovamento e della successiva sua supremazia scaturisce dall'incontro, avvenuto a Parigi tra l'economista Ferdinando Galiani (allora segretario dell'ambasciata napoletana nella capitale francese) e il giovane padovano Giovanni Antonio Rizzi Zannoni (reduce dalla guerra dei Sette Anni). Ad esso il Galiani commissionò il disegno di una nuova carta del Regno di Napoli che vide la luce nel 1769 (*Carta Geografica della Sicilia prima o sia Regno di Napoli*) in quattro fogli e alla scala di 1:425 000 circa. Costruita sulla base di documenti in parte inediti e senza un preciso

riferimento astronomico e geodetico essa tuttavia si distingue per il sapiente uso del tratteggio e la finezza dell'incisione. Caratteristiche che si ritroveranno nelle successive produzioni zannoniane quando il cartografo e geografo padovano venne chiamato a Napoli (1781) dove allestì la celebre Officina Topografica per realizzare una vera carta su precise basi geodetiche ed a scala sufficientemente elevata. La rappresentazione del territorio del Regno delle Due Sicilie era limitata alla sua parte continentale (in genere indicata come *al di qua dal Faro*), ed era costituita da 31 tavole che componevano il cosiddetto "Atlante Terrestre" del Regno di Napoli (Il titolo esatto è *Atlante Geografico del Regno di Napoli delineato per ordine di Ferdinando IV re delle Due Sicilie ecc., Napoli, 1788-1812*).

Il rilevamento topografico, venne completato solo nel 1808 alla scala programmata di 1:126 000 (ma in realtà, secondo le successive misure fatte da Attilio Mori 1922, di circa 1:111 000), sulla base di una triangolazione effettuata tra il 1781 e il 1786 e appoggiata alle basi di Caserta e Lecce. Caratteristica di questa carta è il modo semiprospectico della rappresentazione altimetrica e l'efficacia del tratteggio nell'esprimere le movenze del rilievo, grazie anche all'abilità dell'incisore (Giuseppe Guerra) e all'organizzazione dell'"Officina Topografica" napoletana, alla cui direzione il Rizzi Zannoni rimase fino alla morte (1814). (Fig. 6)

Nell'Atlante Terrestre non è compresa la Sicilia per la quale verrà poi utilizzato un allestimento, realizzato nel 1826 e con i rilievi costieri effettuati dal Capitano inglese William Henry Smyth, alla



Figura 6 – Stralcio di una tavola dell'Atlante Geografico del Regno di Napoli, alla scala originale di circa 1:111 000. L'area rappresentata comprende la Penisola Sorrentina con parte della Piana del Sarno che la separa a nord dal cono vesuviano.

scala di 1:260 000 in 4 fogli (*Carta Generale della Isola di Sicilia*), derivato da una riduzione, alla stessa scala, incisa e pubblicata, sempre in 4 fogli, tra il 1809 e il 1810 (*Carta del Regno di Sicilia*), della settecentesca carta del barone Samuel von Schmettau (*Carta Generale della Sicilia divisa in 25 fogli*), rilevata tra il 1719 e il 1721 e disegnata alla scala di 1:75 000. (Fig. 7)



Figura 7 – Stralcio del foglio 2 della Carta del Regno di Sicilia alla scala originale di 1:260 000 (1809-1810) derivata da quella rilevata ottanta anni prima a scala più grande dal barone Samuel von Schmettau. L'area rappresentata comprende il lato settentrionale dell'Etna, parte dei Monti Peloritani fronteggiati, oltre lo Stretto di Messina dalla costa calabra.

Tra le molte opere degne di nota, compiute sotto la direzione del Rizzi Zannoni, è anche il cosiddetto “Atlante Marittimo” (*Atlante Marittimo del Regno di Napoli disegnato per ordine del Re da G. A. Rizzi Zannoni Geografo Regio e scandagliato da Salvatore Trama Pilota di Vascello.*), pubblicato nel 1785 in 23 fogli alla scala di 1:90 000 e inciso da Giuseppe Guerra. Si tratta di un'eccezionale raccolta di carte dei litorali dell'Italia meridionale corredata da precise informazioni sulle condizioni dei fondali marini e sulla topografia costiera. E' sulla base di questa esperienza che l'Officina Topografica di Napoli poté fornire, in anni successivi (1822-1824), un fattivo contributo alla realizzazione, da parte dell'Istituto Geografico Militare di Milano, della bella *Carta di cabotaggio del mare Adriatico* alla scala di 1:175 000 in 20 fogli.

Sotto la guida di Ferdinando Visconti, successore dal 1814 di Rizzi Zannoni, i topografi napoletani, dopo la realizzazione (1815-1819) di una bella *Carta Topografica e Idrografica dei contorni di Napoli* alla scala di 1:25 000 in 15 fogli, avevano intrapreso, fin dal 1838, un nuovo rilevamento del territorio nazionale alla scala di 1:20 000 in previsione di una carta che presentasse l'altimetria mediante il nuovo sistema delle curve di livello: al 1860 ne erano già state realizzate ben 168 tavolette da parte delle quali si ricavarono i primi 5 fogli di una *Carta fondamentale del Regno delle Due Sicilie* alla scala di 1:80 000.

La cartografia dell'Italia nord-orientale

Lo stesso Rizzi Zannoni, prima di trasferirsi a Napoli, aveva provveduto, tra il 1776 e il 1781, ad eseguire, su incarico del Capitano e Vice Podestà di Padova, Giacomo Nani, una regolare triangolazione del territorio padovano da servire alla realizzazione di una Carta, alla scala di 1:20 000 in 12 fogli (*Gran Carta del Padovano ecc.*, Padova, 1780, promossa dal capitano Giacomo Nani, vice podestà di Padova.), di cui però se ne fecero solo 4. A tale riguardo, va ricordato che ufficialmente la Repubblica Veneta non disponeva di una propria cartografia a grande scala, a eccezione di numerose rappresentazioni geografiche editate dal Santini e dallo Zatta. In effetti, dopo la fine della Repubblica, i suoi archivi rivelarono la presenza di cospicuo materiale topografico (cosa che dimostra quanto il governo veneziano fosse poco incline a rendere pubbliche notizie sulle condizioni effettive del proprio territorio) che verrà messo a disposizione del servizio cartografico dell'esercito napoleonico e utilizzato dal Bacler Dalbe per la redazione della citata Carta del Teatro della Guerra in Italia. Di esso vale la pena ricordare le splendide carte a scala topografica disegnate dal veronese Cristoforo Sorte tra il 1586 e il 1594 relative ai territori bergamaschi, bresciani, veronesi, vicentini, padovani, trevigiani, friulani e polesani.

Con la pace di Campoformio (1797) che sancisce la fine della Repubblica di Venezia e il passaggio all'Austria del Veneto alla sinistra dell'Adige. E' a questo punto che il governo di Vienna decide di realizzare una grande carta topografica (*Topographisch-geometrische Kriegskarte von dem*

Herzogthum Venedig, nota anche come *Kriegskarte*) a scopi essenzialmente militari. Il rilevamento topografico viene affidato al generale Anton von Zach e si svolge tra il 1798 e il 1805 sulla base di una adeguata triangolazione geodetica. Il risultato sono 120 carte alla scala di 1:28 738 (valore riferito alla tesa viennese che era di 1,8967 metri), acquerellate a colori e ricchissime di particolari sugli aspetti fisici ed antropici del territorio rappresentato. (Fig. 8)



Figura 8 – Stralcio di una delle 120 tavole della Kriegskarte alla scala originale di 1:28 738, rilevata tra il 1798 e il 1805 dal barone Anton von Zach. La figura mostra un tratto del fiume Piave che delimita ad est il rilievo calcareo del Montello e lambisce l'attuale località di Nervesa della Battaglia.

Il complesso di queste rappresentazioni costituisce uno strumento fondamentale per la conoscenza del paesaggio e per lo studio della storia di un territorio che nei due secoli successivi subirà consistenti trasformazioni economiche, sociali e soprattutto urbanistiche. Da questo materiale venne redatta (1806) una carta in quattro fogli alla scala di 1:250 000 (*Il Ducato di Venezia astronomicamente e trigonometricamente delineato, ecc.*).

Nell'ambito degli interessi geo-cartografici che il territorio italiano aveva destato per la politica asburgica, sembra significativo ricordare una grande carta pubblicata nel 1822 e realizzata dal cartografo e generale austriaco Ludwig August von Fallon in 9 fogli alla scala di 1:864 000 relativa all'impero austriaco, come recita il titolo: *Das Oesterreichische Kaiserthum mit betrachtlichen Theilen der angrenzenden Staaten*. Due fogli occupano la maggior parte dell'Italia settentrionale (da Ivrea fin oltre Trieste) e buona parte di quella centrale arrivando fino a Siena e Ancona. (Fig. 9)

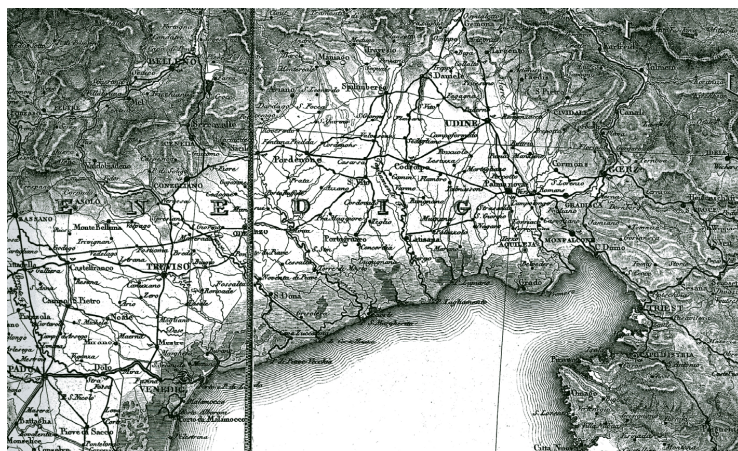


Figura 9 – Stralcio della Carta dell'Impero Austriaco, alla scala originale di 1:864 000, stampata nel 1822 ed eseguita da L. A. von Fallon. La figura mostra l'alto Adriatico con la pianura veneta, i rilievi circostanti e parte dell'Istria.

Contemporaneamente (si veda più avanti) procede un vasto piano di rilevamento che comprende l'intero Regno Lombardo-Veneto (*Carta topografica del Regno Lombardo-Veneto* in 42 fogli, 1833), i Ducati emiliani (Parma, Piacenza e Guastalla, Modena), il Granducato di Toscana e lo Stato della Chiesa con una cartografia di dettaglio all'86 400 orientata sul meridiano dell'Isola del Ferro. (Fig. 10)



Figura 10 – Stralcio di un foglio della Carta topografica del Regno Lombardo-Veneto alla scala originale di 1:86 400 (1833).

La figura mostra l'area sud-est di Pavia con la confluenza del Ticino nel Po.

La città conservava allora la sua cinta muraria.

Non va inoltre trascurata la citazione di un'altra grande carta, anch'essa realizzata su basi geodetiche. E' quella che riproduce il Tirolo, nota come *Atlas Tyrolensis*, pubblicata nel 1774 in 20 tavole alla scala di 1:103 000. Basata su rilievi iniziali del barone Joseph von Spergs (1725-1791), la sua esecuzione venne proseguita da Peter Anich (1723-1766) e completata da Blasius Hueber (1735-1814). In essa vi è in pratica compresa anche l'intera regione del Trentino-Alto Adige. Oltre che per la precisione geometrica, il suo interesse è legato all'estremo dettaglio delle informazioni fornite, come l'idrografia fluviale e lacustre, le coperture boschive, le indicazioni culturali, le miniere, le fonderie e particolarmente le forme di insediamento, dalle città ai villaggi ai castelli e finanche alle malghe e ai masi isolati. Da quest'opera furono ricavate numerose riedizioni a scale più ridotte, anche a 1:545 000. La carta, oggi considerata un fondamentale documento storico, venne sostituita nel 1823 dalla *Spezialkarte Tirol, Voralberg und Liechtenstein* alla scala di 1:144 000 in 23 fogli. (Fig. 11)



Figura 11 – Stralcio di una tavola dell'Atlas Tyrolensis di Peter Anich e Blasius Hueber alla scala originale di 1:103 000. La figura mostra un tratto della valle dell'Adige con la città di Trento e ad ovest i laghi di Molveno e di Toblino. Il corso del fiume appare non ancora rettificato come attualmente.

La cartografia lombarda

Nel corso dell'ultimo quarto del XVIII secolo, a Milano si erano particolarmente distinti gli astronomi dell'Osservatorio di Brera (Angelo De Cesaris, Barnaba Oriani e Francesco Reggio) che già nel 1776 avevano iniziato regolari rilevazioni geodetiche a Pavia, Milano e Cremona per la

preparazione dei lavori di misura dell'arco del parallelo di 45° N. Gli stessi, alcuni anni dopo (1788), per incarico del Governo locale, dopo aver allestito la base geodetica di Somma Lombardo, realizzarono una Carta del territorio milanese e mantovano (*Carta topografica del Milanese e Mantovano eseguita dietro le più esatte dimensioni geografiche ed osservazioni astronomiche*, Milano, 1788-1796, disegnata da Giacomo Pinchetti e incisa da Benedetto Bordiga (fratello di Gaudenzio) alla scala di 1:86 400, valore determinato dalla corrispondenza tra una *linea* misurata sulla carta ed una distanza di 100 *tese* francesi misurata sul terreno. (Fig. 12)



Figura 12 – Due fogli della *Carta topografica del Milanese e del Mantovano* degli astronomi di Brera (1788-96). Il foglio a sinistra è stato modificato dopo il 1804 per i mutamenti attorno al Castello.

La carta si compone di nove fogli di cui uno, quello che porta il titolo, fu inciso a Vienna, dove vennero trafugati i rami degli altri fogli (1796) poi riportati a Milano nel 1804 dopo il ritorno dei francesi in Italia. Questa carta, dai progettisti agli esecutori, è certamente un motivo di orgoglio per la scienza e la cultura del nostro Paese. Purtroppo la nitida ristampa, eseguita una ventina d'anni fa (1992) dalla sapiente mano di Luigi Maestri sulle lastre di rame originali conservate nell'Archivio storico dell'Osservatorio di Brera, è esaurita da tempo

A tale riguardo vale la pena ricordare che la base geodetica costruita a sud di Somma Lombardo è stata in gran parte cancellata dalla costruzione dell'aeroporto della Malpensa (sulle tavolette IGM ricavate dai rilievi aerofotogrammetrici postbellici vi sono ancora segnati gli estremi). E' rimasta solo la piramide dell'estremo nord recante sui quattro lati le targhe commemorative compresa quella dell'IGM relativa al restauro effettuato nel 1956 (da Lucina Caramella, *La base geodetica di Somma Lombardo*, ITIS di Sesto Calende, anno scolastico 1998-99). (Fig. 13)



*Figura 13 – La piramide marmorea (collocata nel 1788) che indica l'estremo nord della base geodetica di Somma Lombardo ubicata nella brughiera che si stendeva in questo tratto dell'alta pianura lombarda.
(immagine tratta da un depliant redatto dalla Prof.a Lucina Caramella docente nell'ITIS di Sesto Calende insieme con i suoi allievi nell'anno scolastico 1998-99).*

Con il ritorno del governo austriaco a Milano il *Depôt de la Guerre* venne trasformato (1816) in Istituto Geografico Militare dello Stato Maggiore Generale (sotto la direzione di Antonio Campana von Splügenberg) che provvide alla pubblicazione (1833) dei 42 fogli della *Carta Topografica del Regno Lombardo-Veneto* alla scala di 1:86 400. Tuttavia, nel 1839 l'Istituto Geografico Militare di Milano fu trasferito a Vienna pur conservando la maggior parte del personale italiano che vi lavorava.

La cartografia dei Ducati emiliani e della Toscana

Come già accennato, nell'ambito delle iniziative topografiche condotte dal governo austriaco e riguardanti gli Stati italiani, l'Istituto Geografico Militare di Vienna si occupò dell'esecuzione dei rilevamenti riguardanti il territorio dei Ducati emiliani realizzando le carte del e a quelle, alla stessa scala, dei Ducato di Parma, Piacenza e Guastalla (1828 in 9 fogli) e del Ducato di Modena (1842 in 8 fogli), tutte alla scala di 1:86 400 e ben collegate a quella, già ricordata del Regno Lombardo-Veneto. La stessa struttura operativa proseguì le operazioni di rilevamento in territorio italiano pubblicando nel 1851 la *Carta Topografica dello Stato Pontificio e del Granducato di Toscana*, ancora alla scala di 1:86 400 e in 52 fogli. Nel corso dei lavori geodetici e trigonometrici per la sua realizzazione fu effettuato anche il collegamento con la rete del territorio del Regno delle Due Sicilie.

Se il Granducato di Toscana e lo Stato della Chiesa avevano potuto giovare dei servizi dell'Imperial Regio Istituto Geografico Militare di Vienna per dotarsi di una completa ed aggiornata rappresentazione cartografica a grande scala del proprio territorio, tuttavia, già nel 1830 lo scolio padre Giovanni Inghirami delle Scuole Pie di Firenze, sulla base di precise determinazioni trigonometriche e catastali, aveva pubblicato in veste del tutto autonoma una *Carta Geometrica della Toscana* alla scala di 1:200 000 in 4 fogli con rilievo a tratteggio in luce obliqua. Essa faceva seguito, come si è prima accennato, ad una carta incisa un quarto di secolo prima (1806) in sei fogli da Gaudenzio Bordiga per conto dal napoleonico *Depôt de la Guerre* alla scala di 1:200 000. Sulla carta dell'Inghirami e su altre produzioni toscane è stato recentemente curato da Andrea Cantile un bel volume ricco di dati e documenti cartografici (*Toscana geometrica. La prima corografia geodetica regionale e il contributo dell'Osservatorio Ximeniano*, IGM, Firenze 2008). (Fig. 14).



Figura 14 – Stralcio della Carta Geometrica della Toscana di Giovanni Inghirami alla scala originale di 1:200 000 (1830).

La figura mostra il cartiglio con una parte della Maremma tra il promontorio del Monte Argentario e il lago di Bolsena. (immagine tratta dal volume di A. Cantile, Toscana Geometrica, 2008).

Considerazioni conclusive

Come si evince dal quadro fin qui esposto, alla realizzazione di una copertura cartografica a grande scala (cioè a scala topografica, con denominatori non superiori a 100) del territorio italiano o di parte di esso avevano fino al momento dell'unità nazionale provveduto principalmente solo tre grandi centri operativi: Napoli con la sua Officina Topografica, Milano con l'Osservatorio di Brera e poi con l'Istituto Geografico Militare (che manterrà, come si è detto, lo stesso personale anche dopo il suo trasferimento a Vienna), e Torino, sede dell'Ufficio Cartografico del Real Corpo di Stato Maggiore Generale.

Di conseguenza, la situazione cartografica dell'Italia al momento dell'unità nazionale (1861) appariva contrassegnata da una notevole frammentarietà dei materiali disponibili, nonché da una totale diversità delle scale, delle proiezioni usate, delle tecniche di rilevamento e della stessa simbologia adottata. Infatti Piemonte, Liguria e Lombardia ad ovest del Ticino avevano una copertura al 50 mila, tutto il Lombardo-Veneto con il resto delle pianura padana, la Toscana e lo Stato della Chiesa risultavano coperte alla vecchia scala, abbandonata dagli stessi francesi che pur l'avevano utilizzata per primi ai tempi del Cassini, di una linea per 100 tese (1:86 400), mentre il Regno di Napoli era rappresentato in gran parte dalle tavole zannoniane del citato "Atlante Terrestre",

Era quindi necessario un intervento radicale e una direzione accentrata delle operazioni progettuali richieste per la realizzazione di una carta completamente nuova di tutto il territorio nazionale. Pertanto i vari servizi cartografici dei preesistenti stati furono fusi nel nuovo Ufficio Tecnico del Corpo di Stato Maggiore dell'Esercito con sede in Torino. Prima ancora di avviare l'esecuzione di un nuovo strumento cartografico apparve subito chiara la necessità di adeguare, almeno al livello dell'esistente per i territori centro-settentrionali, il grado di conoscenza territoriale delle regioni meridionali, la cui copertura topografica, soprattutto per le dimensioni della scala non poteva certamente soddisfare le esigenze militari e civili del Paese.

Di conseguenza, sulla scorta di un opportuno realismo operativo, prevalse l'orientamento di utilizzare quanto derivava dalle iniziative avviate circa un quarto di secolo prima (1838) dall'Ufficio Topografico Napoletano circa il rilevamento a grande scala (1:20 000) della Sicilia e della sezione meridionale della penisola italiana e che prevedeva (novità assoluta per l'Italia e da poco tempo in adozione anche in Germania) la rappresentazione dell'altimetria mediante il sistema delle curve di livello (*isoipse*), già sperimentato con successo in Francia verso la fine del secolo precedente da Jean Louis Dupain-Triel (1782). Con riferimento alla diversità di scala delle cartografie preunitarie parve infine opportuno orientarsi verso una nuova cartografia a grande scala (1:50 000) e più avanzata tecnicamente in virtù del nuovo sistema dell'altimetria espressa tramite le isoipse (curve di livello), già messo in opera dall'ex Ufficio Topografico napoletano.

Venne quindi dato avvio ai lavori per la formazione di una *Carta topografica delle Province meridionali* per la quale si adottò una scala di 1:50 000 analoga a quella della già citata Carta

topografica degli Stati Sardi. I lavori di triangolazione, iniziati già nel dicembre del 1861 in Sicilia sotto la direzione del tenente colonnello di Stato Maggiore Ezio De Vecchi, già professore di geodesia alla Scuola di artiglieria di Torino, si conclusero, per la sola Sicilia, nel 1865, subito seguiti dai rilevamenti topografici a loro volta conclusi entro il 1868. Quindi le operazioni furono estese alle province continentali e il loro compimento si realizzò nel 1876. Complessivamente, la nuova Carta si componeva di 174 fogli alla

Nello stesso tempo venivano poste le premesse per una completa revisione della rete geodetica nazionale, ancora disarticolata in conseguenza del precedente frazionamento geopolitico. L'occasione fu data dalla costituzione, nel 1861 a Berlino, dell'Associazione Internazionale per la misura dei gradi in Europa, poi denominata Associazione Geodetica Internazionale (organismo che aveva lo scopo di facilitare i collegamenti tra le diverse reti di triangolazione nazionali) alla quale l'Italia aderì sollecitamente, istituendo altresì un'apposita Commissione Italiana per la misura dei gradi (1865), poi denominata Commissione Geodetica Nazionale (1880), composta da ufficiali dello Stato Maggiore e geodeti di estrazione universitaria, come i professori G. B. Donati, De Gasperi e Schiaparelli, rispettivamente direttori degli osservatori astronomici di Firenze, Napoli e Milano.

In tal modo l'Italia fu in grado di inserirsi in un intenso piano di collaborazione internazionale che sfociò, negli anni successivi, anche nel calcolo di un arco di meridiano tra le Alpi Occidentali e la città di Cagliari, delle deviazioni locali dalla verticale nelle isole del Tirreno, nonché nel collegamento di Malta alla Sicilia e della Sardegna al continente attraverso l'arcipelago toscano.

Le operazioni geodetiche, sotto la direzione del colonnello De Vecchi, furono eseguite dal 1862 a partire dalla Sicilia dove fu misurata una nuova base nella piana di Catania, quindi (1865) esse ripresero nelle regioni continentali dell'ex regno napoletano (dove fu ricontrollata la base di Foggia e misurate due nuove basi nella valle del Crati e nelle vicinanze di Lecce) per terminare nel 1875. Inoltre, in accordo con il governo austro-ungarico, fu effettuato un collegamento con la rete della Dalmazia e si posero le premesse per la misura di una meridiana nell'Europa centrale da Palermo a Cristiania (l'odierna Helsinki). Contemporaneamente, sempre nel quadro degli impegni assunti in sede internazionale, si sviluppavano ricerche di alta geodesia da parte degli osservatori astronomici di Napoli, Milano e Roma (con la supervisione dei professori Fergola, Schiaparelli, Celoria e del padre Secchi) per la determinazione dei dati di longitudine delle rispettive posizioni.

L'incremento delle attività geodetiche e topografiche mise in evidenza la necessità di istituire un organismo separato dallo Stato Maggiore, anche se da questo dipendente, dove potessero operare congiuntamente tecnici civili e militari. Di conseguenza, con apposito Decreto (del 27 ottobre 1872) il preesistente Ufficio Tecnico del Corpo di Stato Maggiore dell'Esercito fu trasformato in Istituto Topografico Militare con sede a Firenze e propri ordinamenti e compiti istituzionali, vale a dire l'esecuzione di lavori geodetici e topografici per i bisogni (militari e civili) dello Stato. Primo direttore del nuovo organismo fu il De Vecchi, ora generale, che aveva condotto le rilevazioni geodetiche in Sicilia. Dieci anni più tardi, la proposta del ministro della Guerra generale Ferrero di cambiare la denominazione del nuovo ente in quella di Istituto Geografico Militare "siccome quella che meglio corrisponde al vero scopo di quello stabilimento di cui si onora il nostro Paese", fu poi recepita da un successivo Decreto (del 3 dicembre 1882).

Riferimenti bibliografici (a completamento di quelli inseriti nel testo)

- Borri R. (1999), *L'Italia nell'antica cartografia (1477-1799)*, Priuli e Verlucca, Ivrea, 191 p.
- Cantile A. (a cura di) (2007), *La cartografia in Italia: nuovi metodi e nuovi strumenti dal Settecento ad oggi*, IGM, Firenze, 244 p.
- Cavicchi C. (1925), *Elementi di Cartografia*, fasc. 2° (*Cenno storico*), IGM, Firenze, 164 p. e 158 t.
- Edlinger M. (1986), *Peter Anich. Atlas Tyrolensis*, Volksausgabe, Tyrolia, Innsbruck, 18 p. e 85 t.
- Pavari A. (a cura di) (1934), *Catalogo ragionato delle carte esistenti nella cartoteca dell'Istituto Geografico Militare (parte II, carte d'Italia e delle Colonie italiane)*, IGM, Firenze, XXX+587 p.
- Rossi M. (2007), *L'officina della Kriegskarte. Anton von Zach e le cartografie degli stati veneti, 1796-1805*, Fondazione Benetton / Grafiche V. Bernardi, Treviso-Pieve di Soligo, 155 p.

Studio della superficie marziana con metodi di osservazione remota, base di un modello evolutivo della geomorfologia del pianeta

Giovanni Lechi, Gabriele Ruggiero

Dipartimento BEST Politecnico di Milano, Piazza Leonardo da Vinci 32, 20133 Milano
Tel. +390223996526, lechi@polimi.it, gabriele.ruggiero@mail.polimi.it

Riassunto

I dati-immagine acquisiti dal satellite Mars Reconnaissance Orbiter (MRO) permettono di rappresentare la superficie del pianeta Marte in tante caratteristiche importanti. In questo lavoro si è scelto di analizzare in particolare due zone del pianeta, Eberswalde e Holden, che presentano nei loro crateri due sistemi deltizi, uno derivante da un possibile ambiente lacustre, l'altro un ambiente alluvionale. Dai dati raw della ConTeXt Camera (CTX), attraverso il software ISIS si sono ricavate immagini 2D della superficie, a risoluzione compresa tra i 5-6 m/pixel. Dal processing di coppie di immagini contigue si sono ricavati i corrispettivi DEM che, importati in ArcScene di ArcGis, hanno permesso di ottenere modelli 3D dei delta. Dai dati spettrometrici dello strumento CRISM invece, si sono ottenute, attraverso l'analisi con il software CATCRISM di ENVI, le firme spettrali dei minerali di zone prive di polveri dei delta. L'ultimo passo del lavoro è stato tracciare le linee guida per lo sviluppo di un modello di evoluzione geomorfologica marziana, ispirandosi agli attuali *Landscape Models* terrestri, potenzialmente capace di descrivere e quantificare i processi erosivi e di trasporto che modificano le aree di indagine. Di grande importanza per raggiungere questo obiettivo sono le informazioni geologiche derivanti da passate missioni spaziali, da recenti studi e da analisi ad alta risoluzione. Così si pongono le basi per lo studio quantitativo delle caratteristiche energetiche del possibile fluido di trasporto dei sedimenti.

Abstract

The data-imaging registered by Mars Reconnaissance Orbiter (MRO) allow the surface representation of Mars in every essential feature. In this work we analyze two areas of the planet, Eberswalde and Holden, who presents delta network in their craters. From raw ConTeXt Camera (CTX) data, using ISIS, we create 2D images of surface with 5-6 m/pixel resolution. From processing of adjacent coupled images we obtain the corresponding DEM that, loaded in ArcScene of ArcGis, give the possibility to get 3D models. Using the software CAT CRISM from ENVI, we analyse CRISM data and we obtain the spectral signatures of some areas without dust. The last step was to underline the guide lines to develop a landscape evolution model on Mars, starting from the terrestrial one, that could potentially describe and quantify erosional and transport processes, responsible of modification of interested areas. To reach this goal we used geological information taken from old space mission around Mars, recent studies and high resolution analyses. In this way we lay the foundations of quantitative study of energy features of possible fluid.

Introduzione e scopo del lavoro

Lo scopo di questo lavoro è tracciare le linee guida per lo sviluppo di un modello in grado di simulare e descrivere l'evoluzione geomorfologica del suolo marziano nelle zone di Eberswalde e Holden per poi calcolare, in un più ampio lavoro di ricerca, la distribuzione dell'energia di trasporto dei sedimenti che compongono i delta fluviali osservabili in quelle zone. Il lavoro si è sviluppato in

quattro fasi principali: 1) studio, fisico, chimico e atmosferico del pianeta Marte; 2) indagine geologica e morfologica dei due crateri e dei corrispondenti delta; 3) analisi generale dei dati raccolti dal satellite della NASA Mars Reconnaissance Orbiter (MRO) relativi alla superficie (CTX e CRISM); 4) ricerca nell'ambito dei modelli di evoluzione geomorfologica (chiamati Landscape Models, LEMs).

Studio fisico, chimico e atmosferico

Marte (figura 1), il più esterno dei pianeti di tipo terrestre, ha un diametro di 6 805 km, intermedio tra quello della Terra e quello di Mercurio; si muove lungo un'orbita molto ellittica che provoca variazioni dell'insolazione media dell'ordine del 45%. Il periodo di rotazione attorno al proprio asse è di 24h 37min 23s, un anno marziano è lungo 780 giorni. Nella figura 2 si possono notare le caratteristiche fisiche di Marte confrontate con quelle terrestri. Il pianeta è circondato da un'atmosfera molto tenue la cui pressione media è di circa 7 millibar, si presenta con un tipico colore arancione rossastro

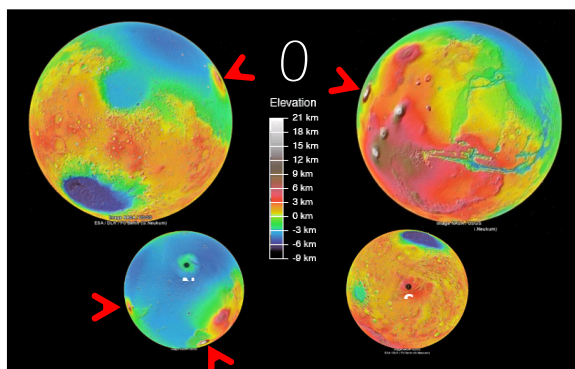


Figura 1 – Globo di Marte.

	MARTE	TERRA
Diametro equatoriale	6.804,9 km	12.756,3 km
Volume	$1,6 \times 10^{20} \text{ m}^3$	$1 \times 10^{21} \text{ m}^3$
Massa	$6,4 \times 10^{23} \text{ kg}$	$5,9 \times 10^{24} \text{ kg}$
Densità media	$3,9 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$	$5,5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
Accelerazione gravitazionale	$3,69 \text{ m/s}^2$	$9,78 \text{ m/s}^2$
Periodo di rotazione (giorno sidereo)	1,025957 giorni	0,997 258 giorni
Temperatura superficiale	133 K (min) 293 K (max)	185 K (min) 331 K (max)
Pressione atmosferica media	8.000 Pa	101.300 Pa
Albedo media	15%	36%

Figura 2 – Confronto caratteristiche fisiche Marte-Terra.

dovuto alla copertura di ossido ferrico. La composizione atmosferica è dominata dall'anidride carbonica che rappresenta più del 95% della dotazione totale dei volatili atmosferici (figura 3). La circolazione atmosferica globale di Marte, in mancanza di oceani che controllino i processi di redistribuzione superficiale del calore solare, è dominata dalle variazioni stagionali di temperatura. Questa, oscilla infatti, in funzione delle stagioni e della latitudine, tra un massimo di circa 293 K e un minimo di 133 K, il range è variabile a seconda delle fonti. Tali escursioni termiche favoriscono la sublimazione dei ghiacci polari in estate, mentre in inverno provocano la condensazione del 25-30% dell'atmosfera e la conseguente deposizione in superficie, sottoforma di ghiacci. La migrazione della CO_2 e di altri elementi da un emisfero all'altro

determina, quindi, la circolazione generale dell'atmosfera. Occasionalmente i venti marziani possono scatenare tempeste di sabbia a livello planetario e generare nuvole di polveri e gas molto estese, ma generalmente sono variabili e provocano sistemi di dune di varia grandezza e lunghezza d'onda. La tabella in figura 4 mostra le percentuali di composizione chimica della superficie di Marte derivanti dalle analisi sia dello spettrometro a raggi X della missione Viking sia dallo studio geochemico dei meteoriti SNC (Shergottiti, Nakhliiti e Chassigniti).

Gas	Abbondanza [%]
Anidride carbonica	95,32%
Azoto	2,7%
Argon	1,6%
Ossigeno	0,13%
Monossido di carbonio	0,07%
Acqua	0,03%
Monossido di azoto	0,01%
Neon	Tracce
Kripton	Tracce
Xenon	Tracce
Ozono	Tracce
Metano	Tracce

Figura 3 – Composizione dell'atmosfera marziana.

Costituente	Concentrazione [%]
SiO ₂	43,4%
Fe ₂ O ₃	18,2%
Al ₂ O ₃	7,2%
SO ₃	7,2%
MgO	6%
CaO	5,8%
Na ₂ O	1,34%
Cl	0,8%
P ₂ O ₅	0,68%
TiO ₂	0,6%
MnO	0,45%
Cr ₂ O	0,29%
K ₂ O	0,1%
CO ₃	<2%
H ₂ O	0-1%

Figura 4 – Composizione del suolo marziano.

Indagine geologica e morfologica dei due crateri e dei corrispondenti delta

I due crateri Holden ed Eberswalde sono ubicati tra i 32° e i 33° W di longitudine e i 23° e i 28° S di latitudine (figura 5). Il motivo della scelta dei crateri in zone così vicine sussiste nella possibile contemporaneità di eventi e/o nelle medesime condizioni ambientali a cui sono stati sottoposti.

Il cratere di Holden

Il cratere di Holden ha un diametro di circa 154 km e, proprio per le sue dimensioni, si fa appartenere al periodo Noachiano, compreso tra i 3,5 e 4,6 miliardi di anni fa. Il delta a SE si stima essere del tardo Noachiano, quindi circa 3,5 Ga. La stratigrafia di Holden viene solitamente suddivisa in tre gruppi principali: basamento pre-esistente o materiale prodotto in seguito a impatti, Unità Inferiore, e Unità

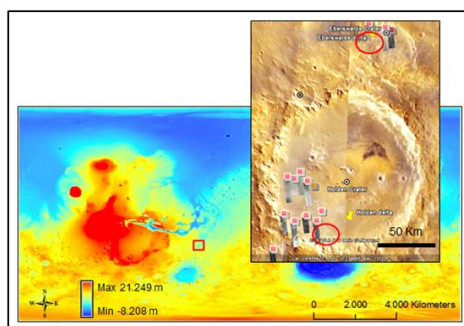


Figura 5 – Proiezione cilindrica di Marte e dettaglio area di studio.

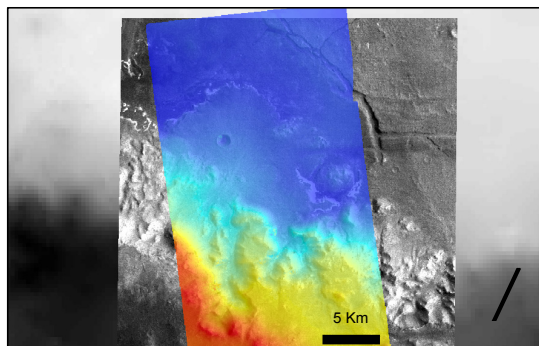


Figura 6 – Delta SW di Holden.

Superiore. Il materiale del basamento contiene megabrecce con clasti che probabilmente derivano dai depositi sedimentari originari del notevolmente più esteso bacino di Holden. L'unità successiva viene divisa in altrettanti tre sottogruppi. Il membro inferiore ha un albedo intermedio e presenta sottili strati orizzontali di circa 1 m di spessore, quello intermedio ha un colore leggermente più chiaro e si trova anch'esso in strati orizzontali, infine il membro superiore ha un colore chiaro e presenta strati decisamente più sottili degli altri due.

L'Unità Inferiore è quindi coperta al tetto da un sottile e scuro letto di materiali fratturati dalle forme poligonali. Superiormente a questo strato si trova l'Unità Superiore, di colore scuro e con stratificazioni più grossolane, che mostra a scala decametrica forme di fondo fluviali e stratificazioni incrociate. In alcune zone inoltre, questa unità risulta coperta da un sottile strato superficiale di colore scuro. Quest'ultima osservazione, unita alle descrizioni precedenti e conseguentemente ad analogie terrestri, porterebbero ad affermare che le due unità Superiore e Inferiore siano un prodotto derivante da due possibili fasi avvenute sia nell'Esperiano (fase umida) sia nell'Amazzoniano (glaciale), e che hanno modificato la superficie del cratere di Holden. Il delta fluviale è posto nella parte inferiore del cratere a SW, ha un'estensione di circa 600 km² e per la sua forma a ventaglio e la sua posizione proprio allo sbocco di una valle molto incisa si crede sia di tipo alluvionale (Pondrelli e Baliva, 2005). La figura 6 mostra il delta di Holden analizzato nelle sue versioni relative a tre tipologie di immagini acquisite da strumenti differenti, MOLA in ultimo piano, in secondo piano HRSC e CTX a colori in primo piano.

Il cratere di Eberswalde

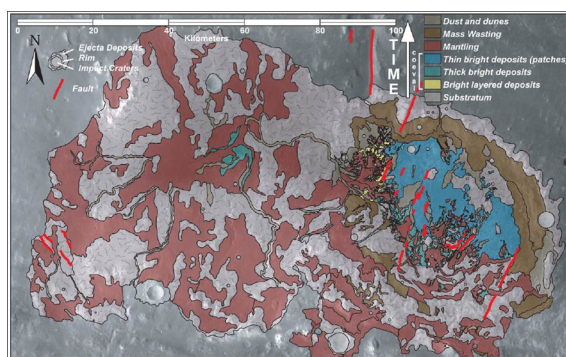


Figura 7 – Zona di Eberswalde.

Il sistema deltizio di Eberswalde è ubicato leggermente a NE del cratere di Holden. Esso è inserito in un sistema di canali in un'area di estensione di circa 8 200 km² e comprendente il bacino di drenaggio, il delta e la zona di deposito dei sedimenti all'interno di una vasta area depressa e piatta (figura 7). La zona deltizia presenta accumuli di sedimento a ventaglio, canali meandriformi e pendenze delle zone terminali maggiori rispetto ai corpi centrali dei delta, suggerendo un'origine legata a meccanismi di tipo trasgressione-regressione in ambiente lacustre. In analogia all'ambiente terrestre, queste

forme vengono associate alla presenza di un lago e all'oscillazione della sua superficie. L'interpretazione dell'ambiente e dei processi formativi di Eberswalde è legata alla comprensione dell'origine dei depositi. Essi sono stati suddivisi in sette differenti Unità che riflettono l'alternanza di periodi ad elevata o scarsa energia, quindi l'alternanza di eventi impulsivi o di media-lunga durata.

L'osservazione della superficie ha permesso il riconoscimento di: substrato, emerge lungo tutta l'area di studio e si presenta come un materiale massivo, di colore chiaro e tessitura fine; strati chiari di medio spessore, sono presenti nel delta e si presentano come poligoni angolosi, piatti composti da blocchi di diametro compreso tra 1 e 4 m; strati scuri di spessore sottile, meno resistenti all'erosione con layer poco visibili; strati chiari di spessore maggiore, non presentano una stratificazione interna percepibile alla risoluzione dell'immagine; depositi di ricoprimento, scuri e lisci che giacciono in maniera discordante con col substrato, presentano una stratificazione molto leggera o assente e, data la loro alta erodibilità al vento, si crede abbiano dimensioni di sabbie o silt; depositi massivi erosionali, sono visibili sulle ripide scarpate del cratere e consistono perlopiù in materiali allungati che mostrano differenti tessiture; depositi di polveri e dune, consistono in forme fossili o recenti ubicate lungo tutta l'area di studio (Pondrelli et al.).

Analisi generale dei dati di relativi alla superficie

I dati utilizzati in questo lavoro sono stati acquisiti dal satellite Mars Reconnaissance Orbiter (MRO) della NASA, lanciato nel 2005 e tuttora in attività. La sua strumentazione di bordo permette di ricavare immagini e dati relativi alla morfologia della superficie (HiRISE e CTX), alla

mineralogia del suolo (CRISM), al clima (MCS), alla meteorologia (MARCI), alla possibile presenza d'acqua (SHARAD). Il dati utilizzati si presentano sottoforma di immagini prodotte da *ConTeXt Camera* (CTX), che permette di osservare vaste aree della superficie del pianeta, e dello strumento *Compact Reconnaissance Imaging Spectrometer for Mars* (CRISM), spettrometro che ricopre il campo del visibile e dell'IR-vicino, utilizzato per identificare i minerali di rocce o sedimenti affioranti. L'obiettivo dell'analisi è quello di generare dei modelli 3D della superficie del delta con le relative informazioni altimetriche e unirvi informazioni mineralogiche con un range di densità e tipologia di sedimento.

Dati da ConTeXt Camera (CTX)

I dati CTX sono un insieme di dati raccolti contemporaneamente sia dalla camera HiRISE sia dallo spettrometro CRISM, fornendo una panoramica globale del contesto (ConTeXt) geo-topografico di ogni singola zona. Le immagini CTX permettono di raggiungere una risoluzione massima al suolo di 5-6 m/pixel in strisciate rettangolari di dimensioni massime 30 km x 160 km, ma le strisciate non hanno quasi mai la stessa estensione. Le immagini vengono ottenute in scala di grigi da una focale di 350 mm con 6 gradi di FOV su un dispositivo CCD di larghezza pari a 5 064 pixel. Lo strumento dispone di una memoria di capacità 256 MB. La regione dello spettro elettromagnetico che viene investigata è quella del campo del visibile compresa tra i 500 e gli 800 nanometri in lunghezza d'onda. Lo strumento ha un unico array di CCD e il processing dei dati avviene secondo uno schema a tre livelli sviluppato con il software ISIS (*Integrated System for Imagers and Spectrometers*), implementato dall'USGS per l'analisi di immagini da missioni planetarie. I livelli sono: acquisizione ed elaborazione dei dati; calibrazione radiometrica e rimozione del rumore; proiezione. Le immagini delle zone di interesse sono state acquisite dal sito <http://pds.nasa.gov>. Il loro URL è stato identificato inizialmente attraverso Google Mars, utile strumento di supporto al lavoro svolto, successivamente sono state controllate con lo *shapefile* dei *footprint* delle immagini importato in ArcGis e vagliate secondo il criterio per il quale l'area di sovrapposizione tra due immagini contigue doveva essere di almeno il 90% e ricoprire maggiormente l'estensione dei crateri. In questo modo il numero delle immagini scaricate è stato ridotto a 31, rispetto alle 70 iniziali effettivamente scaricabili per Eberswalde; per Holden invece è stato necessario scaricare solamente 10 immagini, data la minore estensione del delta (N.d.A.). Effettuato il *download* delle immagini, si è poi svolta l'elaborazione con ISIS che ha portato ogni immagine dal suo originario formato *raw* con cui viene acquisita, al formato *cube*, necessario alle analisi successive. Infatti ISIS permette di calibrare ogni immagine correggendo le ombreggiature, in modo da raggiungere un'immagine con dato radiometrico il più uniforme possibile, e di ripulirle dal rumore. Infine, dopo aver osservato le immagini in *preview*, dopo averne scartate alcune e dopo aver tagliato, per alleggerirle, quelle scelte, si è proceduto con ulteriori comandi di ISIS che hanno reso possibile una corretta proiezione delle singole immagini 2D (figura 8) e la successiva realizzazione di immagini con dato altimetrico, derivante dall'unione di coppie contigue che permettono la visione stereoscopica. In questo modo si sono ottenute le immagini ORTHO-L-equi.tif che, unite ai rispettivi DEM, hanno permesso di raggiungere il risultato sperato (figura 9) attraverso il software ArcGis.

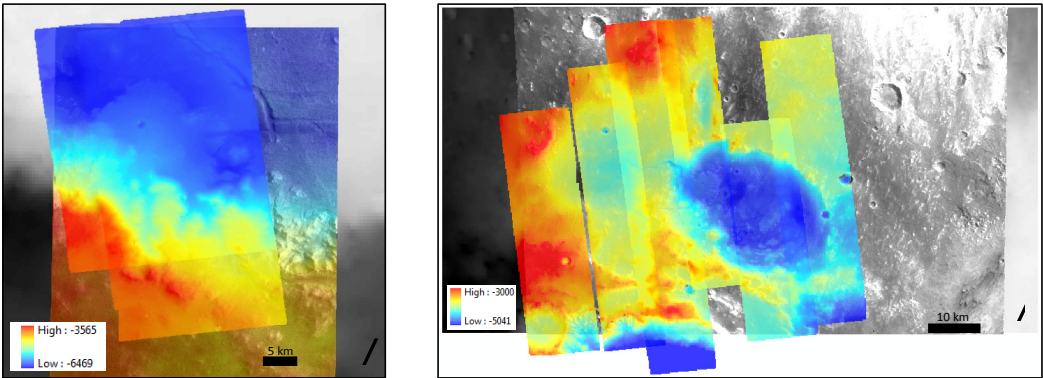


Figura 8 – CTX di Holden (immagine di sinistra) e di Eberswalde (immagine di destra).

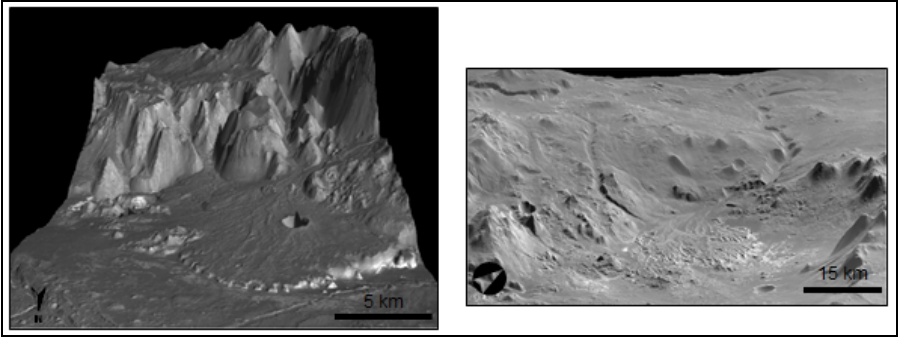


Figura 9 – Modelli 3D di Holden (immagine di sinistra) e di Eberswalde (immagine di destra) da ArcScene.

Come è facilmente immaginabile, sono in ArcGis sono poi eseguibili operazioni quali calcolo delle curve di livello, della mappa delle pendenze, del reticolo idrografico, dei profili (ecc...) utili strumenti per comprendere maggiormente la morfologia delle zone.

Dati da CRISM

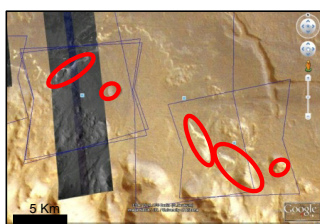
La mineralogia del sedimento, identificabile attraverso le firme spettrali dei minerali, è stata ricavata dall'analisi di immagini spettrali nell'InfraRosso e InfraRosso Vicino acquisite dallo spettrometro CRISM. Lo strumento con a bordo lo spettrometro presenta le seguenti caratteristiche tecniche (figura 10).

Le immagini riprese dallo spettrometro possono essere rappresentate in un parallelepipedo a tre dimensioni dove ogni pixel ha le proprie coordinate immagine (x,y)

Massa	32,92 kg	Range spettrale	VNIR: 362-1053 nm IR: 1002-3920 nm
Apertura	100 mm	Campionamento spettrale	6,55 nm/canale
Distanza focale	441 mm	Campionamento spaziale	15,7 – 19,7 m/pixel; 38 m/pixel se tutte le λ in un punto
FOV	2,12 gradi (37 millirad)	Larghezza di spazzata	9,4-11,9 km da 300 km di altezza
FOV istantaneo	0,0035 gradi (61,5 microrad)	Puntamento	+/- 60 gradi lungo il percorso del satellite
Potenza istantanea	44,4 – 47,3 W	Potenza in standby	16,1 W

Figura 10 – Caratteristiche strumentazione CRISM.

e un suo “spessore” dato dal numero di bande; inoltre ogni pixel di ogni banda ha un suo proprio DN spettrale. Il primo passo dell'analisi è stata l'individuazione delle immagini CRISM sulla superficie del pianeta in una doppia modalità. Dapprima si sono cercati con GoogleMars, una volta scaricato dal sito dedicato (<http://pds.nasa.gov>) il pacchetto immagini KML, i footprint delle immagini CRISM e, confrontate con quelle ricavate importando lo *shapefile* dei *footprint* sul progetto GIS con caricati sia il MOLA sia il layer dei nomi delle zone, si sono scaricate le immagini scelte. Il cui prefisso è FRT sono già espresse in radianza. I formati necessari da scaricare per ogni immagine di interesse sono i .LBL, .TAB e .IMG, quest'ultimo compare sottoforma di DDR, TRR2 e TRR3. Le immagini acquisite già in I/F, ovvero in radianza al detector diviso il flusso solare in quel punto, sono poi state elaborate, corrette e proiettate con l'apposito tool, CAT ENVI, seguendo la guida dedicata *CRISM Data Users' Workshop CAT Tutorial* redatta dal CRISM Team. Per lo svolgimento dell'analisi, si sono selezionate le bande spettrali solo fino alla 340 racchiudendo quindi nell'intervallo bande spettrali del visibile e dell'infrarosso vicino. Inoltre, per la correzione atmosferica, abbiamo scelto l'opzione *Scaled Volcano pre-selected New Mc Guire* poichè così la correzione viene effettuata in funzione della CO₂ presente tra la sommità del Monte Olympus (27 km) e la sua base, prendendo in considerazione l'importante picco di assorbimento vicino a 2007 nm. Sono state poi analizzate 18 immagini per Eberswalde e 9 per Holden (ogni footprint può avere più tipologie di immagini), ma solo di quelle che presentavano affioramenti puliti da polveri in superficie sono state scelte per l'analisi di dettaglio delle firme spettrali. Nelle immagini di figura 11 sono evidenziate le zone cerchiare in rosso, pulite da polveri, che hanno visto calcolati gli spettri di circa venti pixel ciascuna. Su di essi è stata poi calcolata la media, cercando prima di tutto un pixel che presentasse una firma spettrale abbastanza piatta come riferimento, poi ricavando pixel per pixel le firme spettrali.



Fonte: Google Mars



Fonte: Google Mars

Figura 11 – Aree sottoposte ad analisi CRISM.

I grafici che seguono sono stati ricavati importando in Excel i file ASCII di tutti i valori derivanti dalle misure spettrometriche delle immagini e rappresentano le medie del VNIR affiancato all'IR. Il matching tra i due range spettrali è stato possibile perchè entrambi coprono contemporaneamente un sotto-intervallo di circa 51 nm, di conseguenza si è potuto calcolare il gap necessario ad abbassare, per differenza, il primo valore dell'IR facendolo coincidere con l'ultimo del VNIR. I grafici mostrati sono relativi a Holden 6246 ed Eberswalde 60DD.

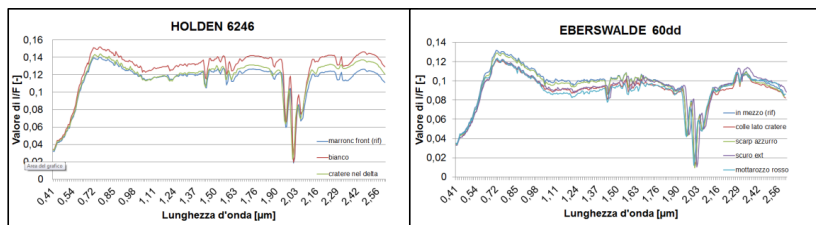


Figura 12 – Firme spettrali di Holden 6246 e Eberswalde 60DD.

Si nota un particolare andamento molto simile in ogni zona, leggermente spostato sull'asse x. I picchi sono sempre nell'intorno delle stesse lunghezze d'onda e, purtroppo, vi si nota ancora l'influenza della CO₂ attorno a 2 µm. Gli spettri precedenti sono stati poi confrontati con gli spettri standard di minerali mafici e idrati presenti nella libreria CRISM di Envi e con spettri di letteratura (Wiseman, 2009). I confronti sono stati effettuati sia portando le nostre firme medie ad avere la stessa lunghezza di quelle standard per poi sovrapporle, sia individuando la lunghezza d'onda delle bande di assorbimento.

Dall'analisi delle firme spettrali medie e dal confronto con i riferimenti standard possiamo dire che i minerali compresi nei delta sia di Eberswalde sia di Holden possono essere in prevalenza silicati ferromagnesiati. In alcune zone inoltre potrebbe esserci prevalenza di plagioclasti. La pendenza positiva, seppur leggera, delle code delle firme spettrali per Holden dovrebbe escludere la presenza di minerali idrati e solfati. Così si è potuto dare un range di densità ai nostri depositi compresa tra i 3-4 g/cm³ per i ferromagnesiati quali Olivina e Pirosseni e come estremo superiore i 5-6 g/cm³ dei plagioclasti. Di conseguenza si escluderebbero densità inferiori in cui ricadono minerali argillosi (attorno a 2,6 g/cm³) e solfati (tra 2,3 e 3 g/cm³).

Ricerca nell'ambito dei modelli di evoluzione geomorfologica

In generale, l'intento di questi modelli di evoluzione geomorfologica (Landscape Models) è quello di simulare, a partire dalla situazione attuale, sia l'evoluzione futura sia quella passata di una certa zona di cui si dispone di varie informazioni (in particolare del modello digitale del terreno) considerando, a seconda del modello, tutti o solo alcuni processi di erosione e trasporto. Si sono quindi considerati vari modelli, già applicati al caso terrestre, cercando quello che potesse descrivere più adeguatamente le due zone marziane studiate utilizzando le informazioni in nostro possesso, ricavate dallo studio geologico e dall'analisi dei dati. Il punto di partenza per i modelli di evoluzione geomorfologica, inteso come condizione iniziale dei modelli stessi, risulta essere la topografia di dettaglio ad alta risoluzione, disponibile anche su Marte. Le condizioni iniziali per i modelli terrestri quindi sono quelle topografiche ricavate da fotogrammetria aerea o da satellite. È per questo motivo che si crede possibile applicare questo approccio modellistico anche alla superficie marziana e in particolare alle nostre due zone, perché come condizioni iniziali risultano necessarie solo le informazioni topografiche di alta precisione. Con le immagini a disposizione da MRO caratterizzate da un'alta risoluzione (5 m/pixel per le CTX, 0,25 m/pixel per HiRISE), si possono anche creare DTM di notevole precisione. Tutti i *Landscape Models* (LEM) fanno riferimento all'equazione di conservazione della massa, per un suolo o per un *bedrock* ricoperto da sedimento, come

$$\frac{\partial z}{\partial t} = U - P + \frac{\partial h}{\partial t} \quad [1]$$

dove z è l'altezza della superficie del terreno, h lo spessore del suolo o del sedimento, P è il termine che indica la produzione di sedimento (sempre positivo), U il tasso di innalzamento tettonico del suolo. Un limite dei LEM è che non colgono né il processo chimico di dissoluzione né il suo opposto, ovvero la formazione di croste dure sulla superficie del deposito che possono incrementarne la resistenza (a.e. calcrete, ferricrete...). Non si può escludere che questi processi siano importanti in ambiente marziano. I modelli numerici per l'evoluzione geomorfologica, come SIBERIA, ARMOUR, CHILD, ZSCAPE, assumono solitamente condizioni al contorno e leggi di trasporto e, partendo da una topografia iniziale "arbitraria" e utilizzando una suddivisione a griglia (quadrata o triangolare) della superficie, risolvono le equazioni di conservazione della massa con passi temporali prefissati e in una certa finestra temporale. Successivamente il risultato viene confrontato con la topografia reale. L'approccio utile al caso marziano risulta proprio questo. Infatti le diverse morfologie risultanti da varie simulazioni possono essere confrontate con la topografia digitalizzata disponibile delle aree e dei delta. Inoltre questo metodo permette anche di selezionare e

far interagire tra loro più processi di versante e, più in generale, processi ambientali capaci di modificare il paesaggio, concedendo la possibilità di identificare quali meccanismi controllano maggiormente la geomorfologia e quali invece possono essere trascurati, a favore della semplicità del modello. Un altro aspetto di non poca importanza, è la possibilità di sviluppare scenari a una scala di tempo molto ampia, anche di migliaia di anni.

Una caratteristica di rilevante importanza in alcuni modelli è che utilizzano il metodo Monte Carlo utilizzabile nel possibile modello. Il metodo infatti fornisce dei range di probabilità di accadimento di possibili output, quindi di scenari evolutivi, in funzione della distribuzione di probabilità degli input. Questa caratteristica, considerando l'impossibilità di effettuare precisi rilievi e osservazioni di campo, ci fa propendere per l'utilizzo di un LEM per Marte con alla base proprio il metodo Monte Carlo, sostituendo così un'analisi statistica ad un'analisi deterministica (Willgoose, 2005).

Conclusioni

Il pregio più rilevante dell'analisi da CTX riguarda la capacità di comprendere la morfologia con i suoi dati geometrici e altimetrici con semplici tool di ArcGis. L'informazione della quota, se viene presa come riferimento assoluto una singola immagine stereoscopica derivante da elaborazione di due immagini CTX, non presenta particolari problemi. Possono comparire solamente dei punti o delle piccole aree grigio scure causate dall'ombra di forme adiacenti che non hanno permesso al satellite di fotografare la superficie con precisione (N.d.A.). Invece se si confrontano DEM contigui, da elaborazioni CTX, già si notano delle differenze di quota nelle fasce periferiche di sovrapposizione, anche superiori ai 100 m, dovute alle variazioni della quota di volo del satellite. Inoltre si è osservato anche un limite nella risoluzione delle immagini. Infatti immagini contigue registrate dallo stesso satellite presentano una risoluzione massima di 3,46 m/pixel e minima di 5,89 m/pixel. La risoluzione più dettagliata di alcune immagini può solo essere dovuta a passaggi di calcolo e di elaborazione compiuti con ISIS, e perciò sono da considerarsi affette da errore.

Riguardo all'analisi dei dati CRISM, si è osservato che questo metodo permette di individuare la tipologia di minerali che compongono la parte superficiale di un pianeta fornendo un range di densità del sedimento stesso. I limiti dell'analisi sono identificabili in una serie di errori avvenuti nell'elaborazione delle immagini, che hanno portato a eliminarne alcune, e problematiche come, ad esempio, la forte influenza della CO₂ sulle firme spettrali attorno ad almeno tre bande di assorbimento 1,4 μ m, 1,96 μ m e 2,1 μ m. Risulta quindi necessario rivedere il metodo di analisi nei suoi passaggi legati all'ATP Correction. Inoltre si dovrebbe considerare anche la presenza di nebbie sia di CO₂ a bassa quota, soprattutto in depressioni della superficie, sia di polveri, molto presenti sulla superficie Marziana, che potrebbero influenzare le misure. Inoltre bisogna ricordare che sarebbe necessaria una copertura CRISM totale del bacino completo delle zone di studio per poter effettuare confronti sulla provenienza del materiale.

In conclusione, si è notato come ad ogni modello e alle sue caratteristiche siano possibili dei confronti con la realtà marziana. Si sono identificate delle lacune nelle informazioni riguardanti il Pianeta Rosso utili per l'implementazione di un modello geomorfologico applicabile, come ad esempio l'assenza di immagini CRISM nel bacino di accumulo del delta di Eberswalde. Dall'altra parte invece si è notato come anche molti modelli terrestri si basino su considerazioni derivanti da immagini satellitari molto dettagliate, disponibili anche su Marte, e su simulazioni Monte Carlo in sostituzione ai rilievi di campo, in analogia alla nostra problematica. Le immagini disponibili non permettono di approfondire adeguatamente un argomento così basilare come quello, ad esempio, dell'analisi granulometrica. Sicuramente in futuro, una volta ultimata la copertura HiRISE la cui risoluzione raggiunge i 25 cm/pixel, si potrà risolvere questo problema.

Infine abbiamo notato come non esista ora un modello applicabile alle condizioni marziane ma esistano aspetti positivi e negativi da valutare e selezionare con accuratezza per costruire un modello *ad hoc*.

Bibliografia

Kieffer H. et al. (1991), "The Planet Mars: from antiquity to the present", *Mars*, 1-33, per figura 4

Owen T. (1992), "The composition and early history of the atmosphere of Mars", *Mars*, 818-834, per figura 3

Pondrelli M. et al. (2008), "Evolution and depositional environments of the Eberswalde fan delta, Mars", *Icarus*, vol. 197: 429-451

Pondrelli M., Baliva A. et al. (2005), "Complex evolution of paleolacustrine systems on Mars: an example from the Holden crater", *Journal of Geophysical Research*, vol. 110

Willgoose G. (2005), "Mathematical Modeling of Whole Landscape Evolution", *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 443-459

Wiseman S. M. (2009), "Spectral and stratigraphic mapping of hydrated sulfate and phyllosilicate-bearing deposits: Implications for the aqueous history of Sinus Meridiani, Mars", Proquest Dissertations And Theses 2009. Section 0252, Part 0372 ; [Ph.D. dissertation]. United States -- Missouri: Washington University in St. Louis. Publication Number: AAT 3371615

La gestione di un Piano di Emergenza Esterno (P.E.E.) nelle aree industriali in presenza di un incidente a rischio rilevante

Lorenzo Leone (*), Daniela Laudani Fichera (*),
Giuseppe Pulvirenti (*), Marco Leone (**)

(*) Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale, Facoltà di Ingegneria dell'Università di Catania
Viale Andrea Doria n°6, 95100 Catania; Tel. 095/7382218, Fax 095/7382247
email: lleone@dica.unict.it, email: dlaudani@dica.unict.it; email: ing.gpuly@tin.it

(**) Ingegnere libero professionista, Specialist GIS
Piazza Ludovico Ariosto 29, 95100 Catania; Tel. 348/5561399, Fax 095/501827, email: ing.leone@gmail.com

Riassunto

Nel presente lavoro sono state analizzate le procedure che regolano i Piani di Emergenza Esterni (P.E.E.), a seguito del verificarsi di un incidente a rischio rilevante, per migliorarne la relativa fase di allertamento. I P.E.E., redatti ai sensi dell'art.20 del D.Lgs. n°334/99, definiscono le metodologie di intervento sulla base di possibili "scenari di rischio" derivanti dallo svolgimento dell'attività industriale, stabilendo le procedure operative che permettono di mitigare, nelle aree esterne prossime allo stabilimento, le conseguenze e gli effetti su cose e persone causate dall'incidente verificatosi. Gli eventi incidentali che si originano all'interno degli stabilimenti sono principalmente legati al rilascio incontrollato di sostanze pericolose per l'uomo e per l'ambiente e possono essere classificati, in base agli effetti dovuti ai rilasci di energia e di materia, in tre diverse aree di impatto, che vengono classificate "zona di massima esposizione", "zona di danno" e "zona di attenzione". Per ciascuna di queste zone a rischio, il cui grado di "pericolosità" è legato alla minore o maggiore distanza dal punto di origine dell'incidente, il P.E.E. valuta gli interventi che la struttura di Protezione Civile dovrà attuare. L'efficacia della pianificazione dell'emergenza è certamente legata alla tempestività di acquisizione da parte degli Enti coinvolti delle informazioni sulla localizzazione spaziale e sulla tipologia dell'incidente, oltre che alle indicazioni operative di intervento contenute nel relativo P.E.E. Per migliorare la fase di allertamento iniziale, nel presente studio si propone una metodologia basata sull'utilizzo di un database geografico da visualizzare su browser geografici. In particolare, la soluzione proposta si basa sulla realizzazione di mappe in formato KML, create con tecnologie Open Source, e sull'accesso attraverso la rete *Internet* ai dati di localizzazione e di allertamento. Per la visualizzazione dei dati è stato scelto di utilizzare Google Earth in quanto dotato di un'interfaccia user-friendly, accessibile da qualsiasi browser, o da applicazioni 2D web o da telefonia mobile. In particolare, si sono testate le possibilità offerte dal nuovo standard per la gestione dei dati geografici OGC-KML, recentemente approvato dalla Open Geospatial Consortium.

Abstract

In this work we have analyzed the procedures governing the External Emergency Plan (EEP), following the occurrence of an incident at significant risk, to improve its alert phase. The EPE, prepared in accordance with Article .20 of Leg. No. 334/99, define the methods of intervention on grounds of possible "risk scenarios" arising in the course of industrial activity, establishing operating procedures that allow to mitigate, in outdoor areas next to the plant, the consequences and effects of things and people caused by the accident occurred. The accidental events that originate within the plants are mainly related to the uncontrolled release of substances harmful to humans and the environment and can be classified, according to the impact of releases of energy and matter, in

three different impact areas, which are classified as "area of maximum exposure," "zone of harm" and "attention zone". For each of these areas at risk, whose degree of "dangerousness" is linked to greater or lesser distance from the origin point of the accident, the EEP Currency interventions that the structure of Civil Defence will implement. The effectiveness of emergency planning is certainly related to the timely acquisition of entities involved in the information on spatial location and type of the incident, in addition to the operational guidance contained in its intervention PEE To improve the initial stage of alert, in the present study proposes a methodology based on a geographical database with a mapping interface. In particular, the proposed solution is based on the creation of maps in KML format, created with open source technologies, and access through the Internet data-tracking and warning. To display the data you chose to use Google Earth as a user-friendly features, accessible from any browser, or web applications or mobile 2D. In particular, we have tested the possibilities offered by the new standards for managing geographic data-OGC KML, recently approved by the Open Geospatial Consortium.

I Piani di Emergenza Esterni - aspetti normativi e possibili criticità attuative

Gli incidenti industriali negli stabilimenti che detengono o utilizzano nel proprio ciclo produttivo sostanze pericolose, possono provocare conseguenze rilevanti sul territorio circostante, specie se altamente urbanizzato. Per minimizzare o limitare tali possibili danni alle persone e all'ambiente è necessario un'adeguata attività di prevenzione e di organizzazione della gestione delle emergenze con tempi di allertamento degli Enti preposti, quanto più possibile, immediati.

In tal senso, sia a livello nazionale che a livello comunitario si è regolamentato il rischio industriale con la direttiva 82/501/CEE (nota anche come direttiva "Seveso"), recepita in Italia con il DPR del 17 maggio 1988, n. 175, successivamente modificata nel 1996 con la direttiva 96/82/CE (cosiddetta direttiva "Seveso II"), recepita in Italia con il decreto legislativo n. 334 del 17 agosto 1999 e s.m.i..

In particolare, ai sensi dell'art. 20 di quest'ultimo Decreto, al fine di fronteggiare le conseguenze che possono verificarsi nelle aree esterne allo stabilimento in seguito ad incidenti rilevanti, il Prefetto, d'intesa con le Regioni e gli Enti locali interessati, previa consultazione della popolazione e sulla scorta delle informazioni fornite dai gestori degli stabilimenti, predispone il Piano di emergenza esterno allo stabilimento (PEE) e ne coordina l'eventuale attuazione.

Il PEE, inteso come piano di protezione civile, indica l'organizzazione delle risorse disponibili atte a ridurre o mitigare gli effetti dell'incidente industriale sulle aree esterne al perimetro dello stabilimento e stabilisce i messaggi d'emergenza, collegati ai sistemi di allarme, da trasmettere alla popolazione, al fine di assumere le adeguate norme comportamentali, preventivamente indicate dal Comune.

In particolare con il PEE vengono individuate sul territorio circostante lo stabilimento, in base alla distanza dal punto origine dell'incidente, le zone a differente livello di rischio, stabilendo per ciascuna zona le indicazioni di protezione civile. Le zone a rischio, diversamente denominate a seconda degli effetti che si possono manifestare, sono classificate in:

- 1) Zona di massima esposizione (o di sicuro impatto), immediatamente adiacente allo stabilimento, caratterizzata, in genere, da effetti sanitari gravi ed irreversibili;
- 2) Zona di danno, con conseguenze ancora gravi su talune categorie di persone (bambini, anziani, malati, donne in gravidanza, ecc.);
- 3) Zona di attenzione, più esterna all'incidente, caratterizzata da effetti generalmente non gravi.

Nel caso di concentrazione di più attività ad alto rischio di incidente rilevante, la Prefettura deve predisporre un unico PEE, raggruppando più realtà produttive, estendendolo ad aree anche notevolmente elevate.

La volontà del legislatore è infatti legata alla necessità di minimizzare l'eventuale effetto "domino", cioè la possibilità che il verificarsi di incidenti in uno stabilimento può come conseguenza primaria essere origine e causa di ulteriori e più gravi eventi nelle realtà industriali adiacenti. Il concetto sopra espresso si traduce a livello normativo nell'applicazione dell'articolo 13 del D.Lgs. 238/05, che prevede l'individuazione proprio delle aree ad elevata concentrazione di stabilimenti pericolosi

(aree critiche) dove è possibile l'interazione reciproca tra stabilimenti in caso di incidente (effetto domino).

Per tali aree, infatti, dovrà essere effettuato uno scambio di informazioni fra i gestori, in modo da poter consentire la predisposizione di uno studio di sicurezza integrato ed un adeguato piano di intervento nel quale siano individuate le eventuali misure urgenti atte a ridurre o eliminare i fattori di rischio. Un'applicazione reale in Sicilia è in tal senso il PEE predisposto dalla prefettura di Siracusa per il raggruppamento nord del polo industriale di Priolo, che comprende la raffineria ESSO, lo stabilimento SASOL ed il deposito della stessa ESSO. In questo caso il bacino considerato nel PEE è abbastanza grande e comprende in un raggio di 5 km anche parte del centro abitato di Augusta.

Per quanto riguarda i contenuti, il P.E.E. viene elaborato da un gruppo di lavoro, coordinato dalla Prefettura, che coinvolge i gestori degli stabilimenti ed i vari enti preposti al controllo del territorio sia a livello tecnico/amministrativo e legislativo, che di pronto intervento. La pianificazione, secondo le indicazioni contenute nelle direttive recepite dalla norma nazionale, si propone di offrire una risposta di protezione civile, a tutela della popolazione, ad eventi gravi i cui effetti superano i confini dello stabilimento e si estendono alle aree esterne circostanti.

In particolare ai sensi del comma 2 dell'art. 20 D.lgs 334/99 il piano ha come finalità:

- a) *controllare e circoscrivere gli incidenti in modo da minimizzare gli effetti e limitarne i danni per l'uomo, per l'ambiente e per i beni;*
- b) *mettere in atto le misure necessarie per proteggere l'uomo e l'ambiente dalle conseguenze di incidenti rilevanti;*
- c) *informare adeguatamente la popolazione e le autorità locali competenti;*
- d) *provvedere sulla base delle disposizioni vigenti al ripristino e al disinquinamento dell'ambiente dopo un incidente rilevante.*

L'elaborato finale che scaturisce dalla lunga serie di incontri, sarà portato a conoscenza della popolazione e degli Enti ed Organismi interessati all'attuazione dello stesso Piano e solo successivamente il Prefetto emetterà il proprio Decreto di approvazione del P.E.E..

A livello normativo, con il D.P.C.M. del 16 febbraio 2007 sono state emanate le linee guida per l'informazione alla popolazione sul rischio industriale, che contempla non solo l'obbligo di comunicazione che grava sui Comuni, ma anche le modalità di tale comunicazione: *“il messaggio informativo, dovrà infatti raggiungere tutti i soggetti interessati dal rischio attraverso un sistema di diffusione capillare e, dovrà essere integrato dalla promozione di adeguate azioni finalizzate a stimolare la partecipazione attiva ed il coinvolgimento dei cittadini in modo da assicurare un'efficiente gestione del territorio da parte delle Autorità Pubbliche preposte, nei casi di emergenze di natura ambientale”*.

Periodicamente, si procede ad un aggiornamento del PEE in modo tale da contemplare eventuali modifiche che sono intervenute sia a livello urbanistico/territoriale (presenza di nuove attività, variazione della morfologia/idrologia dei luoghi, nuovi tracciati stradali, etc.) che a livello industriale (variazione del sistema di processo, aumento dei quantitativi delle sostanze depositate, etc.). Alla fase, quindi, di approvazione deve necessariamente seguire un programma di formazione ed informazione che permetta, in caso di emergenza, l'esecuzione in tempi brevi di quanto concordato. E' questo un punto fondamentale per l'attivazione del sistema di intervento, data la presenza di numerosi Enti che, pur essendo coinvolti nella gestione della stessa emergenza, molte volte non sono direttamente collegati tra loro. Pertanto, soprattutto la fase di avvio e segnalazione da parte del gestore del verificarsi di un incidente alle autorità, deve avvenire nel modo più celere possibile.

Velocizzare i tempi di avvio della “macchina dei soccorsi” può ridurre notevolmente le possibili conseguenze dell'evento, in termini di danni, sia fisici che materiali. In tale fase iniziale si riscontrano di fatto le maggiori criticità in quanto, a tutt'oggi, le procedure di allertamento si basano sulla semplice trasmissione da parte del gestore di avvisi telefonici e messaggi fax, generalmente rientranti nella modulistica allegata allo stesso PEE, che non consentono di fornire una visione

chiara ed immediata dello scenario incidentale (localizzazione; posizione all'interno dell'area dello stabilimento del reparto interessato; accessibilità etc.).

Dall'esame di differenti PEE, si riscontra, infatti, che la fase iniziale di allertamento, è ancora principalmente basata su sistemi tradizionali di comunicazione. In tal senso, si riportano, a titolo esemplificativo, le procedure di allertamento previsti in alcuni PEE, riguardanti poli industriali di notevole interesse. In Sicilia, nel PEE predisposto dalla Prefettura di Messina per la Raffineria di Milazzo S.C.p.A., le comunicazioni interne ed esterne allo stabilimento avvengono con i seguenti mezzi: Impianto telefonico ordinario; Impianto radio UHF, costituito da un sistema centrale di gestione composto da 5 radiotrasmettenti e con diversi tipi di utenti (18 stazioni fisse, 61 stazioni mobili senza tastiera, 10 stazioni mobili con tastiera, 5 stazioni veicolari installate sui mezzi antincendio); Impianto ricerca personale Teletracer o con altoparlanti, con diffusori acustici installati nello stabilimento; Rete telefonica dedicata, collegata con Prefettura, VV.F. di Messina, Pubblica Sicurezza di Milazzo. In Sardegna, nel PEE predisposto dalla Prefettura di Cagliari per l'agglomerato industriale di Sarroch, al verificarsi di un incidente, il Gestore dello stabilimento interessato contatta telefonicamente la Centrale operativa del Comando Provinciale dei Vigili del Fuoco ed il Funzionario di servizio della Prefettura ed informa immediatamente, tramite un messaggio urgente a mezzo Fax gli organi competenti (la Prefettura, la Regione, la Provincia, il Sindaco del Comune, il Comando Provinciale dei Vigili del Fuoco, la Questura, il Comando Provinciale Carabinieri, il Comando provinciale della Guardia di Finanza, il Comando Sezione Polizia Stradale, la Capitaneria di Porto), comunicando le circostanze dell'incidente; le sostanze pericolose coinvolte; le misure di emergenza adottate o che si intendono adottare per rimediare agli effetti dell'incidente; la direzione ed intensità del vento ed ogni altra notizia inerente le condizioni atmosferiche; la probabile evoluzione futura e i conseguenti danni attesi.

L'allertamento nelle condizioni sopra indicate può comportare ritardi ed incertezze operative legati all'iniziale scarsa conoscenza della ditta coinvolta, della localizzazione della stessa, nonché della tipologia di lavorazione e delle sostanze che sono trattate. A tale problematica si cerca di porre rimedio attraverso lo svolgimento periodico di esercitazioni volte alla completa attuazione del PEE; esercitazioni che senz'altro possono anche migliorare tutte le successive fasi interessate, permettendo in questo modo alle autorità coinvolte di perfezionare le proprie procedure interne per la buona riuscita dell'intervento.

La metodologia proposta per la fase di attivazione dei Piani di Emergenza Esterni

L'efficacia degli interventi pianificati nei PEE dipende, per come già evidenziato, dalla tempestività di trasmissione agli Enti competenti dell'allarme e delle informazioni relative alla localizzazione e alla tipologia dello scenario incidentale.

In tal senso l'obiettivo del presente studio è quello di sfruttare gli attuali mezzi di comunicazione che sono in grado di rendere accessibili, contemporaneamente a più utenti, una quantità rilevante di dati su interfaccia cartografica, con l'opportunità di poterli gestire in tempo reale. Si ritiene fondamentale, infatti, dare maggiori indicazioni già all'atto della segnalazione iniziale, sia a coloro che dovranno provvedere all'organizzazione e gestione delle varie fasi attuative del PEE, sia, soprattutto, per coloro che dovranno intervenire direttamente (Vigili del Fuoco, Protezione Civile, etc.) per fronteggiare l'evento incidentale, cercando di limitarne gli effetti.

Inoltre è necessario promuovere la consultazione via web dei diversi Piani di Emergenza Esterni, con la visualizzazione delle relative planimetrie aggiornate, in modo che i singoli Enti interessati possano acquisire con immediatezza le indicazioni operative contenute nel PEE.

Quanto sopra, alla luce dei dati e delle informazioni acquisite in real time dal luogo dell'incidente, consente inoltre di valutare eventuali azioni congiunte di intervento, migliorando quindi la stessa pianificazione, adattandola alle nuove condizioni di scenario, che possono anche non coincidere con quelle ipotizzate in fase di stesura del PEE. Si tratta quindi di potenziare quel processo di gestione informatizzata dei piani, già previsto in chiave normativa, che consiste nel trasferire i contenuti delle pianificazioni cartacee su cartografie digitali, vettoriali e raster, disponibili a varie scale,

consentendo di passare dalla visione generale dell'area ad una di massimo dettaglio, e di rappresentare le ipotesi incidentali più gravi, con le relative aree esterne di danno.

Il sistema di gestione delle emergenze, inoltre, in una visione più completa, dovrebbe essere strutturato dall'organismo responsabile del coordinamento, in modo da analizzare in ambiente GIS tutte le informazioni acquisite, al fine di proiettare in tempo reale gli effetti possibili dell'incidente all'esterno dello stabilimento e programmare la codificazione dei modelli di intervento da attuare.

Nel presente studio è stata approfondita principalmente la fase iniziale di allertamento da parte del gestore dello stabilimento al verificarsi dell'evento incidentale. La metodologia proposta trae spunto dalla sperimentazione in corso del Ministero dell'Interno sulla visualizzazione cartografica nelle sale operative dei VV.F. delle attività soggette a rischio di incidente rilevante, ai fini della pianificazione dell'intervento in emergenza.

La localizzazione e la conoscenza ambientale dello scenario, accompagnate dai dati sulla tipologia dell'incidente, costituiscono in realtà gli elementi conoscitivi di riferimento, per attivare correttamente la "macchina dei soccorsi". Per sopperire nel messaggio di allertamento alla carenza attuale delle informazioni di localizzazione ambientale, si propone con il presente studio di trasmettere la segnalazione dell'incidente, corredandola di una base cartografica dell'area su cui sorge lo stabilimento, con tutte le informazioni di tipo geografico ed alfanumerico atte alla individuazione e definizione dello scenario, mediante l'utilizzo di browser geografici, quale Google Earth. In tal modo, verrebbe sostituito al semplice messaggio fax di allerta agli Enti preposti (su prestampato allegato allo stesso PEE), una email di allerta con allegato un file contenente tutte le informazioni sopra citate. A tal fine è stato testato un sistema basato sulla realizzazione di mappe in formato KML, conformi agli standard dell'Open Geospatial Consortium (OGC), in grado di soddisfare le esigenze sopra richieste. Tale scelta è dettata anche dalla necessità di consentire ai diversi Enti interessati l'acquisizione dei dati informativi, nel modo più chiaro e rapido e indipendentemente dalla piattaforma hardware e dal sistema operativo.

L'Open Geospatial Consortium ed il nuovo standard OGC-KML

L'Open Geospatial Consortium (OGC) è un'organizzazione internazionale di standardizzazione non-profit, che si occupa di definire specifiche tecniche e regole standard per i servizi geospaziali e di localizzazione. L'OGC composto da aziende private, agenzie governative ed università, nasce con l'obiettivo di sviluppare ed implementare standard per la tipologia dei contenuti e dei "servizi" relativi all'interscambio di dati geografici, mediante l'invio di messaggi XML attraverso WEB. Tale sistema di comunicazione garantisce l'interoperabilità per lo scambio dei dati geo-spaziali essendo indipendente dalla piattaforma hardware, dal sistema operativo e dal formato originario dei dati. L'OGC gestisce più di 30 formati inclusi il WMS (Web Map Service), il WFS (Web Feature Service), o il CSW (Catalog Service for the Web), in modo tale da mantenerli conformi con quanto previsto dagli standard ISO/TC211. Tutte le specifiche definite da OGC sono pubbliche (PAS) e disponibili gratuitamente.

Fino ad oggi i più importanti linguaggi utilizzati per la realizzazione di mappe online, sono stati il GML e il KML, che condividono in parte molto della loro grammatica strutturale.

Il Geography Markup Language (GML), definito dall'Open Geospatial Consortium (OGC), è nato principalmente come un formato aperto di interscambio per transazioni geografiche via Internet, ed è diventato standard ISO 19136 nell'agosto 2007, come formato per le infrastrutture GeoWeb.

Il KML (Keyhole Markup Language) è, invece, un linguaggio di tipo XML creato da Google, che permette di gestire e memorizzare dati geospaziali tridimensionali all'interno dei sistemi geografici di Google Earth, Maps e Mobile, oltre che di molti altri browser geografici. Il KML è diventato lo strumento per la condivisione e la pubblicazione dei dati nei browser geografici ed è l'equivalente dell'HTML nei browser Internet comuni. I file KML vengono elaborati da Google Earth in modo analogo a come vengono interpretati i file HTML e XML dai browser web. Come l'HTML infatti, il linguaggio KML ha una struttura basata su tag, con nomi e attributi che consentono di definire le caratteristiche dei dati da visualizzare.

L'Open Geospatial Consortium (OGC), ha annunciato il 14 aprile 2011 il completamento del processo di standardizzazione del formato KML versione 2.2 di Google, come il nuovo linguaggio per la realizzazione e memorizzare dei dati geografici. Il nuovo formato, battezzato OpenGIS-KML Encoding Standard (OGC-KML), non è più controllato da Google, ma è mantenuto dallo stesso OGC, che si è assunto la responsabilità di gestirlo e svilupparlo. Il formato standardizzato è ora patrimonio pubblico per chiunque intenda pubblicare e condividere qualsiasi tipologia di dati su interfaccia cartografica, e per tale motivazione (formato comune, aperto e ben testato) è stato scelto come riferimento nella presente applicazione.

Applicativo della fase di allertamento

Di seguito viene illustrata la metodologia proposta per la “creazione” del “messaggio di allertamento” che il gestore dell’impianto, in caso di incidente rilevante, dovrà inviare via internet alle Autorità per l’attivazione del PEE. In particolare la procedura proposta si basa sinteticamente su tre punti:

1. Realizzazione di mappe in formato KML
2. Trasmissione via internet delle mappe create, come allegato alla email di allertamento
3. Visualizzazione mediante browser geografici quale Google Earth

Le fonti di riferimento utilizzate per la realizzazione delle mappe sono in generale rappresentate dalle cartografie numeriche disponibili a varie scale. Nel presente studio le B.D. geografiche prese come riferimento sono state il SITR Sicilia dell’ Assessorato Regionale Territorio ed Ambiente, ed il sito di Geofabrik, che distribuisce le mappe del portale geografico di OpenStreetMap. Le informazioni geografiche così acquisite, costituiscono i layer di base della mappa KML, per la conoscenza territoriale dell’area intorno allo stabilimento, oggetto del PEE. In particolare nella tabella seguente vengono riportati gli strati informativi ricavati di OpenStreetMap e trasformati in KML usando il software OSMLib.

STRATI INFORMATIVI	
Layer roads	“grafo stradali”
Layer railways	“grafo ferroviario”
Layer natural	“elementi naturali”
Layer waterways	“elementi idrografici”
Layer buildings	“strutture di interesse”
Layer points	“punti di interesse”

Tabella 1 – Strati informativi derivati dal sito Geofabrik.

Dal SITR Sicilia, invece, sono stati scaricati il Modello Digitale del Terreno e l’ortofoto dell’area del volo digitale a colori ATA0708.

Cartografia tecnica Regionale	“edificato”
Ortofoto ATA 2007-08	“ortofoto”
DTM/DSM ATA 2007-08 2mt	“modello digitale terreno”

Tabella 2 – File derivati dal SITR SICILIA.

Per evidenziare le infrastrutture e le attrezzature presenti all'interno dello stabilimento, necessarie nella fase operativa di intervento, sono stati riportati in Cad sulla precedente base cartografica realizzata in KML, i simboli e i modelli 3D di tutti gli elementi sensibili, con la relativa descrizione testuale. Infine, a completamento della realizzazione delle mappe KML, sono stati aggiunti su diversi layer le principali specifiche operative definite nel PEE (indicazione delle aree di danno, posizione dei cancelli, indicazione dei punti di raccolta e delle vie di accesso, localizzazione dei D.P.I., etc.). Il file KML così ottenuto, costituisce l'allegato che il gestore dell'impianto, responsabile per l'attivazione del PEE, trasmetterà alle Autorità dopo averlo integrato con l'indicazione "puntuale" di dove si è verificato l'incidente e della relativa descrizione particolareggiata (tipologia, causa dell'evento, etc.).

Per l'inserimento di tali informazioni sul file KML già predisposto, si agisce direttamente in modo semplice ed immediato, così come impone la situazione di emergenza, attraverso il browser geografico (Google Earth). La trasmissione, quindi, del messaggio verrà eseguita via internet e permetterà di raggiungere contemporaneamente tutti coloro che dovranno provvedere a vario titolo all'organizzazione e gestione dell'emergenza.

Per la visualizzazione delle mappe KML si è scelto, infine, di utilizzare Google Earth, in quanto dotato di un'interfaccia user-friendly, che non richiede la conoscenza dei software GIS ed è accessibile facilmente da qualsiasi utente ed in qualsiasi posto. Le mappe KML, essendo accessibili da tutti gli utenti tramite una connessione internet, sia in browser geografici che in applicazioni 2D per web o per la telefonia mobile, rendono più certa e sicura la fase di ricezione del "messaggio di allertamento" così architettato.

Conclusione

La metodologia proposta per l'attivazione delle procedure dei PEE, si basa sulla realizzazione di mappe in formato KML con la localizzazione e la descrizione tipologica dell'incidente, create con tecnologie Open Source, e sulla trasmissione del "messaggio di allertamento" attraverso internet da parte del gestore dell'impianto, a tutti gli Enti di competenza.

Con tale procedura vengono superate le criticità, talvolta manifestatesi, sulla conoscenza reale dello scenario incidentale e sull'immediatezza della relativa trasmissione, legate alle attuali modalità di allertamento basate su sistemi tradizionali di comunicazione (messaggi fax, tel. ecc.), consentendo in tal modo una migliore attivazione di tutta "la macchina dei soccorsi".

Il gestore dell'impianto, con la procedura proposta, può integrare, in modo semplice ed immediato, la mappa KML, già predisposta, con le indicazioni "puntuali" dell'origine dell'incidente, e di tutte le informazioni di emergenza, non previste, ma ritenute necessarie da segnalare.

La scelta di utilizzare Google Earth, per la visualizzazione delle mappe, consente una facile accessibilità alle informazioni trasmesse, in quanto ormai ampiamente utilizzato e dotato di un'interfaccia user-friendly, che non richiede la conoscenza dei software GIS.

La soluzione proposta rappresenta un esempio di applicazione open source, in linea con il web 2.0 e coerente ai principi della Direttiva Europea Inspire in materia di dati geografici ed ambientali poiché:

- facilita la ricerca delle informazioni geografiche disponibili per permettere di valutarne l'utilità per i propri scopi;
- combina i dati provenienti dalle diverse fonti e condividendoli tra più utenti ed applicazioni;
- produce, aggiorna e rende ampiamente accessibile l'informazione geografica necessaria per il buon governo del territorio;
- facilita la comprensione e la interpretazione, tramite tools di visualizzazione, dei dati geografici;
- condivide in rete le informazioni raccolte a differenti livelli;

Si evidenzia inoltre l'importanza della standardizzazione di OGC del linguaggio OpenGIS KML 2.2 Encoding Standard (OGC KML), che risiede principalmente nella possibilità di offrire agli sviluppatori di tutto il mondo l'opportunità di usare uno standard comune aperto e ben testato per gestire le mappe e le informazioni online.

Bibliografia

Decreto Legislativo n°334 del 17/08/1999

Rota R., et all., 2008, “Lo sviluppo di uno strumento operativo per la preparazione alle emergenze chimico-industriali” - Atti del convegno VGR 2008

Piano di Emergenza Esterno per il Raggruppamento Nord - Polo industriale di Augusta/Priolo

Piano di Emergenza Esterno per la Raffineria di Milazzo S.c.p.A. - edizione 2008

Piano di Emergenza Esterno per l'agglomerato industriale di Sarroch - edizione 2011

Varagnolo P., 2011, “Progettazione e sviluppo di un toolkit per la gestione di dati spaziali 3D nei formati standard OGC cityGML e KML per il geodatabase opensource PostGIS”

<http://www.opengeospatial.org/standards/kml>

Elaborazioni GIS 3D per la lettura del territorio: un esempio per la Riserva Naturale delle Salse di Nirano (Appennino Modenese)

E. Liberatoscioli (*), D. Castaldini (*), M. Conventi (**), P. Coratza (*)

Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia, Modena, Dipartimento di Scienze della Terra
Largo Sant'Eufemia n. 19, 41121 Modena, Tel. +390592055811, Fax +390592055887
e-mail: elena.liberatoscioli@unimore.it

(**) Riserva Naturale Regionale delle Salse di Nirano, Comune di Fiorano Modenese (MO)
V.le V. Veneto n. 27/A, 41042 Fiorano Modenese (MO), Tel. +390536833276-258, Fax +390536838718

Riassunto

La Riserva Naturale Regionale delle Salse di Nirano ricade nel territorio di bassa collina ai piedi dell'Appennino modenese ad una trentina di chilometri da Modena. La Riserva, visitata ogni anno da circa 50.000 persone, è stata istituita nel 1982 e suo elemento caratterizzante sono le cosiddette Salse, emissioni di fango freddo prodotte dalla risalita in superficie, attraverso faglie e/o fratture, di acqua salata e fangosa frammista principalmente a metano e in piccola parte a petrolio. A seconda della densità della melma, in superficie si possono osservare forme a cono o polle a livello del terreno. I prodotti descritti sono stati realizzati per la promozione e la valorizzazione della Riserva. Una prima elaborazione consiste in un'immagine tridimensionale, ottenuta dal DTM passo 5 metri della Regione Emilia Romagna rivestito con le Ortofoto Digitali Agea 2008, tale da rendere apprezzabile anche per un visitatore inesperto la particolare morfologia a conca della zona in cui sono ubicate le salse, nonché i calanchi circostanti. L'immagine è stata pubblicata sulla Carta Turistico-Ambientale della Riserva Naturale Regionale delle Salse di Nirano caratterizzata anche da una Carta Geoturistica che coniuga la rappresentazione dei più evidenti aspetti geologici e geomorfologici con le informazioni turistiche fondamentali. Inoltre, è stato realizzato un breve video basato su alcune scene di volo virtuale sul territorio della Riserva (*fly-through*) elaborate con ArcScene della ESRI, opportunamente montate fra loro e arricchite con elementi descrittivi e didattici che evidenziano soprattutto gli aspetti geomorfologici. Il tutto è stato completato con la toponomastica e con le foto dei soggetti più caratteristici o interessanti (i coni di fango, i calanchi, le strutture di visita della Riserva, etc.). Il video sarà disponibile presso il Centro Visite Ca' Tassi, la sede dell'Ecomuseo Ca' Rossa e su Internet in quanto lo scopo è quello di "accompagnare" in maniera accattivante il visitatore in un vero e proprio tour virtuale guidato dell'area protetta, facilitando la lettura del territorio.

Abstract

The Regional Natural Reserve of Salse di Nirano is located in the low hill territory of the Modena Apennine, about 30 kilometers from Modena. The Reserve, visited yearly by about 50,000 people, was established in 1982 and its characteristic element are the so-called "Salse". They are emissions of cold mud up to the surface through faults and fractures, due to the ascent of salty and muddy water mixed mainly with gaseous (methane) and secondly with fluid hydrocarbons (petroleum veils). Depending on the density of the mud, at the surface it can be observed cones or pools at ground level. The products described below have been made for the promotion and the enhancement of the Reserve. The first consists of a three dimensional image, obtained from the 5 m

DTM of the Emilia Romagna Region texturized with the Agea 2008 Digital Orthophoto, in order to let even non-experts to appreciate the particular morphology of the valley where the Salse are located and of the surrounding badlands. The image was published in the Tourist-Environmental Map of the Regional Natural Reserve of Salse di Nirano characterized also by a Geotourist map that combines the most evident geological and geomorphological aspects with basic tourist information. In addition, it was made a short video based on scenes of a virtual flight on the territory of the Reserve (fly-through) obtained by using ESRI ArcScene, properly assembled and enriched with descriptive and didactical elements that highlight the mainly geomorphological aspects of the area. Everything has been completed with the toponyms and some pictures of the most distinctive or interesting subjects (the mud ejection points, the badlands, the Reserve's facilities, etc.). The video will be available at the Visitor Centre, at the Ecomuseum headquarters and on the Internet with the aim to "accompany" visitors in an engaging virtual guided tour to the protected area, facilitating the understanding of the landscape.

La Riserva Naturale Regionale delle Salse di Nirano

La Riserva Naturale Regionale delle Salse di Nirano è situata nella bassa collina dell'Appennino modenese a circa 30 Km da Modena. Si estende nel territorio comunale di Fiorano Modenese per 207 ettari ed è compresa fra i 140 e i 308 m di quota. Appartiene al bacino idrografico del F. Secchia e i suoi corsi d'acqua principali sono il Rio Chianca, il Rio Serra e il Rio delle Salse. Nasce nel 1982 come prima riserva dell'Emilia Romagna, istituita con l'obiettivo di conservare le caratteristiche vegetazionali e geologiche dell'area. La sua attrazione principale sono le cosiddette "Salse", emissioni di acqua fangosa e salata frammista a idrocarburi. Nel cuore della Riserva, dove sono ubicate per l'appunto le salse, vige un regime di tutela a protezione integrale che prevede norme ambientali più restrittive. Nel 2004 la Commissione Europea la dichiara Sito di Importanza Comunitaria (SIC) ai sensi della direttiva Habitat, includendo anche i calanchi limitrofi (per un totale di ca. 371 ha). Il riconoscimento è dovuto alla presenza di habitat prioritari e di specie rilevanti per la tutela della biodiversità. Dei sette habitat di interesse comunitario individuati, tre sono considerati prioritari come la prateria alofila continentale a *Puccinellia fasciculata*. Si tratta dell'unica stazione regionale dell'entroterra di questa graminacea, che cresce vicino ai coni delle salse dove il grado di salinità non permette ad altre piante di attecchire. La peculiarità del fenomeno delle salse fa della Riserva un geosito di interesse geomorfologico e idrogeologico importante per la tutela della geodiversità e del Patrimonio Geologico del nostro Paese. La sua valenza non è solo scientifica ma anche e soprattutto geoturistica, escursionistica e divulgativa. La Riserva, la cui gestione dal 2006 avviene in maniera coordinata fra il Comune di Fiorano Modenese e la Provincia di Modena, è inoltre inserita in un contesto ad alto valore geologico comprendente i Calanchi del Rio del Petrolio dove affiorano marne fossilifere; anche qui avvengono emissioni naturali di idrocarburi, sfruttate sin dal XV secolo per scopi terapeutici.

Il fenomeno delle Salse e l'ambiente geologico della Riserva

Le salse sono delle emissioni di fango freddo prodotte dalla risalita in superficie di acqua salata e fangosa frammista ad idrocarburi principalmente gassosi (metano) ed, in piccola parte, liquidi (petrolio) lungo faglie e fratture del terreno che caratterizzano il margine appenninico. Il nome "Salsa" dipende dall'alto contenuto di sale delle acque fangose, la cui origine è da collegarsi alla presenza del mare che occupava l'attuale Pianura Padana sino a circa un milione di anni fa. La forma degli apparati di emissione dipende dalla densità della melma; se densa si hanno "coni" di varia altezza (singoli, doppi o multipli; Fig. 1), se liquida si hanno "polle" a livello del terreno (Fig. 2). I coni e le polle hanno rispettivamente altezze e diametri variabili da vari decimetri ad alcuni metri. La morfologia delle salse è in continua evoluzione con nuove bocche che si aprono ed altre che cessano la loro attività. In totale si possono individuare quattro gruppi di apparati lutivomi "a

cono” e tre “a polla”. Il materiale emesso dalle salse ricopre il terreno circostante con colate di fango. Le salse sono ubicate sul fondo di una depressione sub-circolare simile ad una caldera anche se non si tratta di un fenomeno vulcanico. Bertacchini et al. (1999) spiegano la genesi della conca che ospita le salse come il risultato di un progressivo collasso gravitativo per il continuo svuotamento di fango emesso dagli apparati lutivomi. Un'altra ipotesi è che tale depressione sia il risultato di un collasso per gravità in corrispondenza di un "diapiro" al termine o in una fase di stasi della sua attività di sollevamento (Castaldini et al., 2005 e 2007). L'ipotesi più recente, formulata da Bonini (2008a; 2008b), è che la depressione di Nirano si sia formata per collasso della copertura legato al degassamento e all'emissione di fango e di fluidi.

Conosciuto e studiato con interesse fin dall'epoca romana, a partire da Plinio il Vecchio nel 50 d.C., dal XIX secolo ha attirato l'attenzione di ricercatori di varie discipline (es. Stoppani, 1873; Coppi 1875) e, nel campo di Scienze della Terra, è stato oggetto di studi anche molto recenti (es. Accaino et al., 2007; Bonini 2008a; Bonini 2008b).

Da un punto di vista geolitologico, nella Riserva affiorano argille di origine marina databili da 5 a 1 milioni di anni fa (Pliocene Inf. – Pleistocene Inf.) riferibili alla Formazione delle Argille Azzurre (FAA). Strutturalmente, la zona delle salse è posta al culmine di una blanda anticlinale (Gasperi et al., 2005) e il territorio dell'area protetta è caratterizzato da due sistemi di faglie e/o fratture, ortogonali tra loro, la cui presenza è deducibile dagli elementi morfologici (Castaldini et al., 2007). L'allineamento degli apparati lutivomi, disposti lungo la direzione NE-SW, evidenzia il sistema principale di faglie e fratture che interessa l'area. Il sistema secondario, parallelo all'asse dell'anticlinale, denota al contrario una direzione NW-SE. Quasi ovunque all'interno e all'esterno della Riserva, si possono osservare i calanchi, una delle più spettacolari morfologie dei terreni argillosi dell'Appennino; essi sono caratterizzati da un reticolo idrografico ad alta densità con creste sottili che separano impluvi con colate sul fondo. In questo contesto, le frane sono ampiamente diffuse e in gran parte attive. In pratica, oggi, l'evoluzione dei versanti calanchivi avviene in molte aree della Riserva anche, e soprattutto, a causa delle frane che provocano un rapido arretramento della testata dei calanchi, con conseguente assottigliamento delle creste che separano calanchi ubicati su versanti opposti e colmano gli impluvi con i loro depositi argillosi (Castaldini, 2009).



*Figura 1 – Gruppo di coni lutivomi,
Foto D. Castaldini.*



*Figura 2 – Salsa a polla con tracce di petrolio
(in marrone), Foto L. Callegari.*

La valorizzazione turistica dell'area

Fin dalla sua istituzione, la Riserva ha promosso iniziative volte a valorizzare l'area dal punto di vista turistico, accogliendo singoli visitatori, comitive e soprattutto scolaresche con un nutrito programma di attività. Nell'ultimo decennio i visitatori sono passati da 30.000 a 50.000 all'anno. I sentieri e i percorsi tematici attrezzati (uno per diversamente abili), la cartellonistica e due centri per visitatori (Ca' Tassi e Ca' Rossa) rendono l'area fruibile a tutti, supportando le iniziative di

educazione ambientale. Il Centro Visite Ca' Tassi, il primo ad essere inaugurato, è una struttura polivalente che ospita il museo naturale ed ornitico, oltre a strumenti didattici convenzionali e multimediali (pannelli descrittivi, giochi interattivi e bacheche didattiche). Qui si trovano un *auditorium*, una sala convegni, strutture di accoglienza (punto ristoro, sale di consultazione, area picnic esterna), nonché un laboratorio di ricerca e sperimentazione per le scuole e una biblioteca. Il suo restauro è avvenuto alla fine degli anni '90 con la volontà di rispettare l'identità storica, culturale e architettonica del complesso rurale già di proprietà del Comune di Fiorano. Sono state quindi impiegate materie prime e tradizioni costruttive di un tempo, affiancate alle tecniche della moderna bioedilizia. Con il suo impianto fotovoltaico da 4kW di potenza nominale, Ca' Tassi è il primo centro visite della Regione Emilia Romagna energeticamente autonomo. Nel 2010 è stata inaugurata Ca' Rossa, un complesso rurale ottocentesco recentemente restaurato con gli stessi dettami della tradizione e della bioarchitettura, divenuto sede dell'Ecomuseo, quindi del museo del territorio. Al suo interno attraverso pannelli, fotografie, interviste filmate, attrezzi e documenti vengono rievocate le tradizioni del passato, quelle enogastronomiche e le attività ludiche di un tempo. A questo si aggiunge il mini-frantoio utilizzato dai locali per la molitura delle olive di Nirano.

Carta Turistico-Ambientale e ricostruzione 3D del territorio della Riserva

Dopo la pubblicazione di una prima Carta Turistico-Ambientale della Riserva (Barozzini et al., 2004), nel 2011 ne è stata realizzata una nuova edizione (Castaldini et al., 2011).

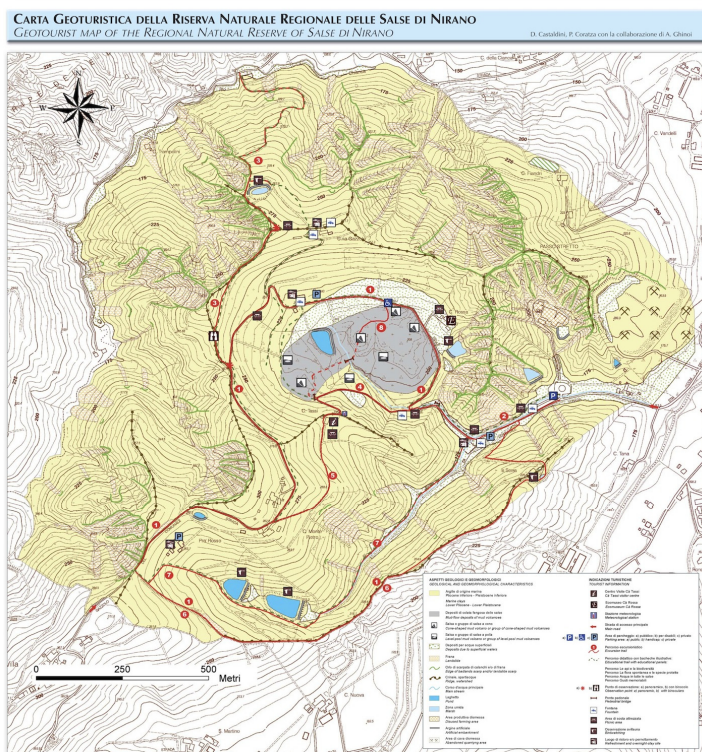


Figura 3 – Carta Geoturistica, documento caratterizzante la nuova Carta Turistico-Ambientale della Riserva Naturale Regionale delle Salse di Nirano (Castaldini et al., 2011).

La nuova Carta, che contiene numerosi aggiornamenti rispetto all'edizione del 2004, è ideata per accompagnare il visitatore nella lettura e nell'interpretazione del paesaggio e dell'ambiente della Riserva. In concreto si tratta di un pieghevole tascabile, stampato fronte/retro, con note illustrative sintetiche in italiano e in inglese, i cui elementi caratterizzanti sono una Carta Geoturistica (Fig. 3) e un'immagine ad effetto 3D del territorio della Riserva. La Carta Turistico-Ambientale nel suo insieme fornisce al visitatore, oltre alle indicazioni relative agli aspetti geologico-geomorfologici, anche informazioni su flora e fauna, turistiche generali, sui percorsi didattici ed escursionistici, sulle strutture di visita, sulle norme comportamentali da tenere all'interno dell'area protetta. La Carta Geoturistica, stampata sul fronte del pieghevole, coniuga i più evidenti aspetti geologico-geomorfologici con le informazioni turistiche fondamentali. Elaborata in ambiente ESRI ArcGIS dai rilievi originali degli autori, indica, con una simbologia e un linguaggio semplificati adatti anche al visitatore meno esperto, la litologia predominante, la localizzazione delle salse, le frane, i laghetti e le zone umide, nonché i tematismi turistici veri e propri con la classica simbologia (centri visite, fontana, punto per il *birdwatching* o di osservazione, sentieri e percorsi tematici, parcheggi, ecc.). La base topografica è la Carta Tecnica Regionale (CTR) della Regione Emilia Romagna in scala 1:5.000.

Elemento caratteristico del retro della nuova Carta Turistico-Ambientale (Castaldini et al., 2011), che la distingue dalla vecchia edizione, è un'immagine ad effetto 3D (Fig. 4), che risulta particolarmente realistica, tesa a far comprendere meglio gli aspetti morfologici della Riserva e i rapporti spaziali fra gli elementi territoriali citati nella parte descrittiva e illustrati nella Carta Geoturistica. Il tutto è corredato da una breve nota illustrativa che con un linguaggio divulgativo mette in evidenza oltre agli aspetti geomorfologici (calanchi, conca delle salse) anche la tecnica con cui è stata ottenuta la ricostruzione tridimensionale che l'utente finale, essendo non esperto, potrebbe interpretare come una vera ripresa aerea.



Figura 4 – Originale dell'immagine ad effetto 3D edita sul retro della nuova Carta Turistico-Ambientale della Riserva Naturale Regionale delle Salse di Nirano (Castaldini et al., 2011).

L'immagine è stata ottenuta a partire dal DTM (*Digital Terrain Model*) passo 5 m della Regione Emilia Romagna elaborato in ambiente ESRI ArcGIS per predisporre il TIN (*Triangulated Irregular Network*) da trattare successivamente all'interno di ArcScene. Trattandosi di un territorio collinare, i dislivelli all'interno dell'area protetta non sono eccessivi; si è quindi ritenuto opportuno applicare un fattore di esagerazione (1,5) per la quota altimetrica (asse z). Per un effetto più

realistico, è stato necessario "rivestire" la ricostruzione 3D così ottenuta con le Ortofoto Multifunzionali AGEA del 2008. Nella prima edizione della Carta Turistico-Ambientale (Barozzini et al., 2004) era presente un DTM ottenuto a partire dalla citata CTR 1:5.000 della Regione Emilia Romagna, ma la ricostruzione tridimensionale pubblicata era priva di drappaggio con le ortofoto. Con il nuovo prodotto, particolare attenzione è stata riposta anche nell'orientazione del modello 3D, per ottenere un effetto prospettico complessivo che dia a chi lo legge la sensazione di essere nel punto di osservazione dal quale meglio interpretare la morfologia dell'area. L'orientamento del 3D rispecchia abbastanza fedelmente quello della Carta Geoturistica (Fig. 3); ciò facilita il confronto e l'interpretazione congiunta dei due documenti. L'effetto tridimensionale che risulta da tutte queste operazioni facilita la comprensione delle forme del territorio e in particolare lascia ben apprezzare la conca sub-circolare in cui sono ubicate le salse (il cosiddetto "Campo delle Salse" al centro dell'immagine) e gli interessanti esempi di calanchi; questi ultimi si sviluppano sia all'interno dell'area protetta che nell'area esterna che fa comunque parte del SIC "Salse di Nirano". Inoltre, l'immagine in oggetto (Fig. 4) mette in evidenza l'allineamento degli apparati lutuvomi che appaiono al centro della conca come tre chiazze chiare, impostati lungo faglie e/o fratture, allineamento che si può seguire anche al di fuori della conca considerando altri elementi morfologici. Il confine della Riserva è evidenziato in giallo-ocra e si è preferito sovrapporre all'originale di Fig. 4, in fase di redazione definitiva, pochi toponimi essenziali alla comprensione dell'orientamento spaziale dell'immagine per non disturbarne la lettura. I dati di base che hanno permesso la successiva elaborazione della ricostruzione 3D (DTM e Ortofoto) sono stati gentilmente messi a disposizione dal Servizio Pianificazione Urbanistica e Cartografia della Provincia di Modena.

Volo virtuale sulla Riserva e modello 3D "navigabile"

Come naturale prosecuzione del lavoro iniziato con la nuova edizione della Carta Turistico-Ambientale (Castaldini et al., 2011) è stato realizzato anche un breve video (di cui sono riportati quattro fotogrammi in Fig. 5) basato su alcune scene di volo virtuale (*fly-through*) sul territorio della Riserva per ottenere le quali sono stati ancora una volta utilizzati il DTM passo 5 m e le Ortofoto AGEA 2008 (v. sopra).



Figura 5 – Alcuni fotogrammi del filmato del volo virtuale sulla Riserva

Le scene, elaborate in ambiente ESRI ArcGIS (ArcScene), sono state successivamente montate fra loro con un *software* per il montaggio video diffuso e di facile utilizzo (Apple iMovie). Quest'ulteriore passaggio ha permesso un'alta personalizzazione del prodotto finale. Infatti, al video costituito dalla sequenza delle scene adeguatamente selezionate e tagliate sono stati aggiunti: una "copertina" di introduzione con il titolo e con una foto suggestiva dei coni delle salse; i toponimi ed altre scritte esplicative con effetto a comparsa/scomparsa; il confine della Riserva per meglio inquadrarne l'estensione e i titoli di coda con *credits* e ringraziamenti.

Un elemento del tutto nuovo, rispetto a precedenti esperienze simili, sono le usuali fotografie riprese da terra che appaiono con effetto *Ken Burns* nel momento più opportuno dando all'osservatore quasi l'impressione di atterrare sulla Riserva per vedere da vicino i suoi elementi caratteristici. Queste ultime ritraggono gli apparati lutivomi a cono e a polla (es. figg. 1 e 2), i calanchi, le strutture di visita della Riserva, etc. e sono talvolta corredate da suoni ambientali registrati sul terreno (es. il gorgoglio dei fanghi delle salse), elemento che conferisce particolare realismo a tutto il filmato. L'aggiunta di una musica di sottofondo e il montaggio delle scene precedentemente registrate in ArcScene, che permette da una parte di ottenere più facilmente l'effetto finale voluto, dall'altra di cambiare all'occorrenza il punto di osservazione, rende più accattivante la sequenza video suscitando l'interesse dell'osservatore. Il filmato è organizzato seguendo l'idea che un ipotetico visitatore giunga alla Riserva delle Salse di Nirano provenendo da Modena che rappresenta il maggior bacino di utenza dell'area protetta. Ogni passaggio del video è stato perfezionato grazie alla preziosa e stretta collaborazione con la direzione della Riserva. Inizialmente, l'obiettivo era quello di illustrare il territorio della Riserva e i suoi elementi più interessanti; si trattava sostanzialmente di un aggiornamento del volo virtuale già realizzato per un CD multimediale contenente anche testi, galleria foto e video disponibile anche sul *web* e prodotto nel 2007 in occasione del 25° anniversario della Riserva (Castaldini et al., 2007). Questo primo volo virtuale era stato elaborato con le Ortofoto del Programma IT 2000 della CGR di Parma. Quindi si prevedeva di inserire nell'aggiornamento del volo virtuale pochi elementi di novità. Nel corso del lavoro però, grazie anche alle nuove dotazioni *hardware* e *software*, è stato deciso di dare al filmato un taglio più didattico per farne un mezzo di divulgazione della geologia e della geomorfologia della Riserva, uno strumento che facilitasse la lettura del territorio e del paesaggio partendo dal perché di certe morfologie. Un accorgimento in tal senso è stato quello di sottolineare

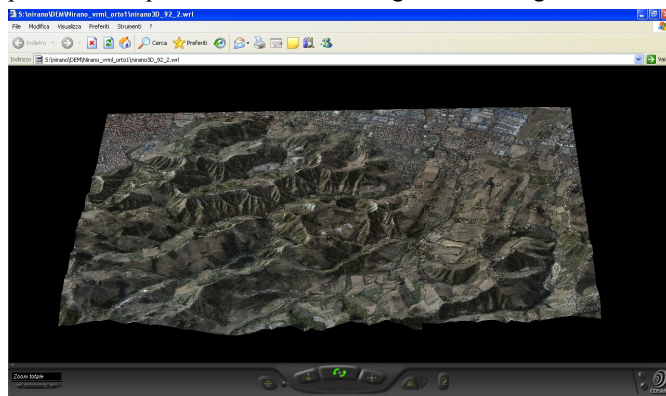


Figura 6 – Scena 3D “navigabile” in linguaggio VRML, leggibile con il browser (nell'esempio Internet Explorer) grazie all'installazione di un plugin (nell'es. Cosmo Player).

con simboli e sovrasegni tipici delle carte geologiche e geomorfologiche corredate da scritte esplicative, le principali morfologie e le strutture tettoniche (es. orlo dei calanchi, frane, discontinuità tettoniche lungo cui sono allineati i coni). Il video sarà a disposizione dei visitatori della Riserva presso le strutture di visita precedentemente citate (Ca' Tassi e Ca' Rossa) e ne è prevista anche la diffusione attraverso Internet.

Da ultimo, la scena 3D realizzata per la Riserva con ArcScene è stata anche esportata in linguaggio VRML (*Virtual Reality Modeling*

Language) grazie al quale è possibile riaprirla e “navigarla” con un comune *browser* per Internet (es. Internet Explorer) cui viene aggiunto un *plugin* di facile reperimento (es. Cosmo Player o Cortona). Un esempio è quello di Fig. 6. Lo si può anche visualizzare e navigare con altri VRML

viewer (client) di tipo *standalone*. Grazie ai comandi messi a disposizione dal *viewer* utilizzato (i *viewer* si differenziano fra loro non solo per come gestiscono la navigazione, ma anche per il modo in cui rendono una stessa scena), come *zoom*, *pan*, *rotate*, *tilt*, etc., l'utente può esplorare a proprio piacimento il modello che rappresenta la Riserva, reso piuttosto realistico dalla *texture* ottenuta con le ortofoto a colori, come per i mondi virtuali dei videogiochi. In questo modo, rispetto al video presentato in precedenza che si configura come una visita guidata virtuale, si realizza una sorta di visita sempre virtuale ma "libera", in quanto il punto di osservazione e il percorso di esplorazione diventano quelli scelti dall'utente e non da chi realizza il prodotto. Per dare comunque dei riferimenti all'utente, il prodotto è stato personalizzato modificando il file VRML creato con ArcScene e aggiungendo alcuni "Viewpoint" o "punti di vista" (per es. *Zoom* totale, *Zoom* Riserva, *Zoom* Salse) cui si può tornare rapidamente in genere selezionandole da un menu a tendina (dipende dal *viewer* utilizzato). Attualmente sono allo studio altre personalizzazioni che prevedono l'aggiunta di elementi interattivi. A conclusione del lavoro, è prevista l'installazione del modello in VRML sui *computer* di Ca' Tassi, centro visite della Riserva, e Ca' Rossa, sede dell'Ecomuseo del territorio di Nirano, dove sarà a disposizione dei visitatori, soprattutto delle scolaresche e del pubblico più giovane.

Conclusioni

Per facilitare al visitatore la lettura del paesaggio della Riserva Naturale Regionale delle Salse di Nirano, dove è localizzato il fenomeno pseudo-vulcanico meglio sviluppato di tutto il territorio italiano, sono stati elaborati un'immagine ad effetto 3D, un video basato su alcune scene di volo virtuale sul territorio della Riserva (*fly-through*) e un modello 3D "navigabile". Tutti i prodotti sono stati ottenuti a partire dal DTM passo 5 m della Regione Emilia Romagna e dalle Ortofoto Multifunzionali AGEA 2008 trattate in ambiente ESRI ArcGIS e in particolare con ArcScene.

L'immagine ad effetto 3D (Fig. 3), inserita nella nuova Carta Turistico-Ambientale della Riserva Naturale Regionale delle Salse di Nirano (Castaldini et. al, 2011), è una ricostruzione tridimensionale ottenuta a partire dal DTM, successivamente rivestita con le ortofoto a colori. Per evidenziare le caratteristiche morfologie della Riserva, inserita in un contesto collinare, è stato applicato un fattore di esagerazione (1,5) per la quota altimetrica (asse z); inoltre, particolare cura è stata riservata all'orientazione del modello con cui è stata prodotta l'immagine.

Il video (di cui sono riportati quattro fotogrammi in Fig. 5) è basato su alcune scene di volo virtuale (*fly-through*), elaborate in ambiente ArcGIS (ArcScene) e opportunamente montate fra loro con iMovie. Un elemento caratterizzante sono le fotografie riprese da terra che inframezzano il volo virtuale, dando l'impressione di atterrare sulla Riserva per osservare da vicino i suoi elementi più interessanti. I testi (toponimi e spiegazioni), dei sovrassegni per illustrare le morfologie, i titoli e l'audio arricchiscono il video e lo rendono uno strumento didattico utile per la comprensione del territorio della Riserva. Il modello 3D "navigabile" consiste nella stessa ricostruzione tridimensionale realizzata per il video di cui sopra, esportata in linguaggio VRML, linguaggio per la modellazione della realtà virtuale. Grazie ai comandi del *viewer* utilizzato (costituito dal *browser* con l'aggiunta di un *plugin* o da un *software standalone*), l'utente può esplorare a proprio piacimento la scena 3D come per i mondi virtuali dei videogiochi (Fig. 6). In questo modo si realizza una sorta di visita virtuale "libera" alla Riserva, in quanto il punto di osservazione e il percorso di esplorazione diventano quelli scelti dall'utente e non da chi realizza il prodotto; questo lo differenzia dal volo virtuale che è invece una sorta di *tour* guidato. In abbinamento al video può costituire un ottimo strumento didattico per coadiuvare le iniziative di educazione ambientale degli operatori della Riserva, soprattutto per quanto riguarda la comprensione dei suoi aspetti geologico-geomorfologici. Entrambi i prodotti saranno disponibili sui *computer* delle strutture di visita della Riserva e, nel caso del video, anche su Internet.

I tre prodotti in oggetto, fanno parte delle iniziative adottate dal soggetto gestore per migliorare la conoscenza, la fruizione e la valorizzazione della Riserva Naturale Regionale delle Salse di Nirano che nell'ultimo decennio ha aumentato i suoi visitatori da 30.000 a 50.000 all'anno.

Riferimenti bibliografici

- Accaino F., Bratus A., Conti S., Fontana D., Tinivella U. (2007), *Fluid seepage in mud volcanoes of the northern Apennines: an integrated geophysical and geological study*. Journal of Applied Geophysics, 63, 90-101.
- Barozzini E., Bertogna I., Castaldini D., Chiriac C., Dallai D., Del Prete C., Gorgoni C., Ilies D., Sala L., Valdati J. (2004), *Riserva Naturale Regionale delle Salse di Nirano. Carta Turistico-Ambientale*, Comune di Fiorano Modenese, Eliofofotecnica Barbieri, Parma.
- Bertacchini M., Giusti C., Marchetti M., Panizza M., Pellegrini M. (a cura di) (1999), *I Beni Geologici della Provincia di Modena*, 104 pp., Artioli Editore Modena.
- Bonini M. (2008a), *Elliptical mud volcano caldera as stress indicator in an active compressional setting (Nirano, Pede - Apennine margin, northern Italy)*. Geology, 36, 131-134.
- Bonini M. (2008b), *I vulcani di fango Emiliani: retrospettiva e prospettive*. Geoitalia, 22, 12- 21.
- Castaldini D., Valdati J., Ilies D.C. & Chiriac C. with contributions by Bertogna I. (2005), *Geo-Tourist Map of the Natural Reserve of Salse di Nirano (Modena Apennines, Northern Italy)*, Il Quaternario, Italian Journal of Quaternary Sciences 18 (1), Volume Speciale, 245-255.
- Castaldini D., Conti S., Conventi M., Dallai D., Del Prete C., Fazzini M., Fontana D., Gorgoni C., Ghinai A., Russo A., Sala L., Serventi P., Verri D., Barbieri M. (2007), *Le Salse di Nirano*, CD ROM, Enciclopedia Multimediale, Comune di Fiorano Modenese.
- Castaldini D. (2008), *Map and multimedia tool for the environmental tourism in protected areas of the Modena Apennines (Northern Italy)*, GeoJournal of Tourism and Geosites, Year I, no. 1, vol. 1, 2008, pag. 13-33.
- Castaldini D. (2009), *Le forme del paesaggio della Riserva Naturale delle Salse di Nirano (Appennino Modenese)*. In Bertacchini M. (a cura di) "Geobenessere. La Geologia tra Salute e Wellness", Artestampa Ed., Modena, ISBN 978-88-6462-004-6, 40 - 47.
- Castaldini D., Conventi M., Coratza P., Dallai D., Liberatoscioli E., Sala L., Buldrini F. (2011), *Carta Turistico - Ambientale della Riserva Naturale Regionale delle Salse di Nirano*, Comune di Fiorano Modenese, Tipolitografia Notizie, Modena, ISBN 978-88-906052-0-8.
- Coppi F. (1875), *Brevi note sulle Salse Modenesi*. Bollettino del R. Comitato Geologico, 7-8, 1-7.
- Gasperi G., Bettelli G., Panini F., Pizziolo M., Bonazzi U., Fioroni C., Fregni P., Vaiani S.C. (2005), *Note Illustrative e Carta Geologia d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio n. 219 Sassuolo*, SELCA, Firenze.
- Plinio il Vecchio (ca. 50 d.C.), *Historia Mundi Naturalis*, Book II-85, Einaudi Ed., Torino.
- Stoppani A. (1873), *Il Bel Paese*, Milano, 651 pp.

Riferimenti a siti web

- <http://www.comune.fiorano-modenese.mo.it/Turismo/salse%20nirano/index.htm>
<http://www.regione.emilia-romagna.it/wcm/geologia/index.htm>

Analisi delle relazioni tra struttura forestale e del paesaggio per la conservazione della pseudomacchia del PR dei Colli Euganei (PD)

Emanuele Lingua (*), Carlo Jacopo Zeffiro (*), Matteo Garbarino (**), Raffaella Marzano (**)

(*) Dipartimento TESAF, Università di Padova, Viale dell'Università 16, 35020 Legnaro (PD), Tel. 049 8272711
Fax 049 8272713, emanuele.lingua@unipd.it, czeffo@libero.it

(**) Dipartimento AGROSELVITER, Università di Torino, Via L. da Vinci 44, 10095 Grugliasco (TO)
Tel. 011 6705535, Fax: 011 6705556, matteo.garbarino@unito.it, raffaella.marzano@unito.it

Riassunto

La pseudomacchia mediterranea è una formazione termoxerofila, la cui composizione specifica, pur con un generale impoverimento degli elementi stenomediterranei, ricorda la macchia mediterranea. Probabile relitto di un paleo clima precedente le glaciazioni e isolata da zone tipicamente mediterranee, deve la sua attuale presenza a particolari condizioni microclimatiche favorevoli. All'interno del Parco Regionale dei Colli Euganei, la pseudomacchia occupa una superficie di circa 113 ha, corrispondente al 2,14% della superficie boscata. Per la sua particolarità di formazione extrazonale, assume un particolare significato naturalistico e biogeografico.

Obiettivo principale del lavoro è individuare eventuali relazioni tra la struttura a livello di popolamento e quella a livello di paesaggio allo scopo di definire opportune strategie gestionali per la salvaguardia della pseudomacchia.

L'approccio utilizzato prevede il ricorso ad analisi in ambiente GIS per individuare i punti di campionamento in cui effettuare i rilievi di campo (parametri dendrometrici e strutturali) e successivamente per il calcolo di *landscape metrics*, finalizzate alla caratterizzazione della struttura del paesaggio.

Attraverso l'analisi delle componenti principali si sono individuate le caratteristiche strutturali dei popolamenti in cui la pseudomacchia evidenzia un migliore status di conservazione. Lo studio condotto ha evidenziato in particolare l'importanza della dimensione della *patch* e della distanza con altre *patches* appartenenti alla medesima classe. Identificate quindi le criticità, è stato possibile delineare indicazioni gestionali e definire priorità di intervento.

Abstract

The Mediterranean pseudomacchia is a thermoxerophilous vegetation community whose species composition is similar to that of real Mediterranean maquis, despite a reduced number of stenomediterranean elements. This community is a probable relict of pre-glacial flora and is now disconnected from typical Mediterranean areas, owing its survival to favorable microclimatic conditions.

Within the Colli Euganei Regional Park, pseudomacchia occupies an area of 113 ha, corresponding to 2,14% of the overall forest cover. Given its peculiar character of extrazonal vegetation, it has a great environmental and biogeographical importance.

The main objective of this work was to identify possible relationships among forest structure at stand and landscape level, aiming at defining effective management strategies to preserve pseudomacchia stands and their inherent biodiversity.

GIS analyses were performed to locate sampling points where to realize field surveys (dendrometric and structural parameters) and lately to compute landscape metrics.

Through Principal Component Analysis it was possible to define which structural conditions were typical of well preserved pseudomacchia stands. The importance of patch size and its proximity to other patches of pseudomacchia was particularly underlined. The main critical points for the conservation of this relict vegetation were then identified, allowing to delineate possible management options and priorities.

Introduzione

La conservazione della biodiversità è divenuta un punto cardine della gestione forestale degli ultimi decenni (Gaston, 1996; Dauber et al., 2003). In tal senso la gestione sostenibile delle foreste necessita di una definizione chiara ed univoca del concetto di biodiversità e conseguentemente di metodologie efficaci per la sua quantificazione (Noss, 1990). Gli indicatori di biodiversità vengono ricondotti generalmente a due categorie a seconda che facciano riferimento a specie o a strutture indicatrici (Lindenmayer et al., 2000). Tuttavia l'utilizzo di specie indicatrici si è rivelato problematico poiché non è stato possibile definire una relazione robusta tra potenziali specie indicatrici o gruppi di specie e la biodiversità totale all'interno di un habitat o un ecosistema (Lindenmayer, Cunningham, 1997; Van Den Meererschaut, Vandekerckhove, 1998). Un interesse sempre maggiore è stato quindi rivolto agli indicatori basati sulla struttura forestale, in quanto si presume che una foresta caratterizzata da una struttura articolata fornisca risorse diversificate, tali da ospitare una notevole varietà di specie in grado di utilizzarle (Pretzsch, 1997; Brokaw, Lent, 1999). Le strategie di conservazione della biodiversità devono inoltre tenere in considerazione il fatto che la ricchezza specifica ed i processi ecologici ad essa correlati sono controllati da fattori, sia biotici che abiotici, che operano a scale differenti (Baudry et al., 2000; Torras et al., 2008). In particolare negli ultimi decenni si è evidenziato il forte impatto della configurazione del paesaggio sulla diversità e la struttura delle comunità a livello locale (si veda ad esempio Rosenzweig, 1995; Hanski, 1999). La conoscenza dei processi tramite i quali la biodiversità è influenzata dalla struttura del paesaggio e da modificazioni degli habitat costituisce ad oggi uno degli aspetti di maggior interesse nel campo della ecologia del paesaggio e della conservazione della diversità biologica (Maclean et al. 2006; Terzioğlu et al., 2009).

In tale contesto il presente lavoro si propone di analizzare la struttura forestale ed individuare le relazioni tra la struttura a livello di popolamento e quella a livello di paesaggio allo scopo di definire indicazioni gestionali utili per la conservazione della biodiversità all'interno di un'area protetta (Parco Regionale dei Colli Euganei, PD).

Area di studio

Il Parco Regionale dei Colli Euganei è stato istituito con L.R. 10/10/1989 n.38 e attualmente si estende per circa 18700 ha. E' stato il primo parco regionale della regione Veneto, creato per salvaguardare l'ambiente dei Colli Euganei, importante ponte di collegamento tra la zona alpina e quella appenninica. A causa delle collocazione geografica e dell'articolata morfologia e litologia dei Colli Euganei, la flora del parco presenta un numero elevato di specie botaniche (oltre 1300 secondo Mazzetti, 1987). All'interno del Parco la pseudomacchia mediterranea rappresenta sicuramente una delle caratteristiche più singolari del paesaggio forestale euganeo, probabile relitto di un paleoclima precedente le glaciazioni, più caldo e secco dell'attuale. Questa formazione si trova isolata da zone tipicamente mediterranee e deve la sua attuale presenza a particolari condizioni microclimatiche favorevoli (Lorenzoni, 1968).

La pseudomacchia ha una diffusione pari a circa 113 ettari che corrisponde al 2,14% della superficie boscata totale del Parco. E' una formazione termoxerofila, la cui composizione ricorda, negli elementi essenziali, la macchia mediterranea. Rispetto a quest'ultima presenta però un generale impoverimento degli elementi stenomediterranei (quali *Viburnum tinus* L., *Pistacia lentiscus* L., *Myrtus communis* L., *Phillyrea* sp.), con la presenza di specie più o meno mesofile ed eurimediterranee (ad esempio *Melica uniflora* Retz., *Lathyrus niger* (L.) Bernh., *Tanacetum corymbosum* (L.) Sch.Bip.). Queste differenze fanno sì che questi lembi di vegetazione non si

possano ascrivere, in senso stretto, alla tipica vegetazione mediterranea. Per la loro particolarità di formazioni extrazonali, esse hanno un particolare significato naturalistico e biogeografico; la preservazione di tali formazioni deve pertanto costituire uno degli obiettivi prioritari della gestione selvicolturale (Del Favero et al, 1990).

La pseudomacchia è una formazione assai povera, per lo più arbustiva, che, anche ad età avanzate, solo raramente raggiunge altezze superiori ai 5-7 m. I rari soggetti arborei presenti sono costituiti da individui di roverella (*Quercus pubescens* Willd.), castagno (*Castanea sativa* Miller) e ornello (*Fraxinus ornus* L.). La copertura è comunque molto elevata e la formazione è impenetrabile in mancanza di piste o sentieri; questa caratteristica può essere adottata come discriminante quando la quantità o la copertura dei soggetti arborei non è sufficiente per distinguere tale formazione dal querceto dei substrati magmatici con elementi mediterranei, poiché la pseudomacchia è appunto impenetrabile da parte dell'uomo (Del Favero, 2001).

Le specie che compongono lo strato erbaceo ed arbustivo sono corbezzolo (*Arbutus unedo* L.), erica arborea (*Erica arborea* L.), cisto femmina (*Cistus salvifolius* L.), ipocisto (*Cytinus hypocistis* (L.) L.), terebinto (*Pistacia terebinthus* L.), asparago pungente (*Asparagus acutifolius* L.), citiso peloso (*Chamaecytisus hirsutus* (L.) Link), citiso scuro (*Lembotropis nigricans* (L.) Griseb. *subsp. nigricans*), dittamo (*Dictamnus albus* L.), convolvolo rosa (*Convolvulus cantabrica* L.), silene a mazzetti (*Silene armeria* L.), robbia selvatica (*Rubia peregrina* L.), pungitopo (*Ruscus aculeatus* L.), viburno lantana (*Viburnum lantana* L.) e scotano (*Cotinus coggygia* Scop.).

Sono spesso presenti elementi della brughiera come ginepro comune (*Juniperus communis* L.), brugo (*Calluna vulgaris* (L.) Hull.) e felce aquilina (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn).

Materiali e metodi

Partendo dalla carta degli habitat della rete Natura 2000 relativa al SIC/ZPS in cui il Parco ricade (Colli Euganei - Monte Lozzo - Monte Ricco, IT3260017) in formato numerico, sono stati individuati ed estratti tutti i poligoni di pseudomacchia all'interno dei confini del Parco. Da questo database si è estratto un campione ricadente nella parte centrale del Parco, dove la pseudomacchia è maggiormente presente. All'interno delle *patches* con superficie maggiore di 1 ha sono stati posizionati casualmente punti di campionamento (ArcView 3.1; *random points generator*), imponendo come vincoli la distanza minima dal confine della *patch* (25 m) e la distanza minima tra i punti di campionamento (120 m). Applicando questo metodo sono stati individuati 25 punti di campionamento all'interno di 12 *patches* di pseudomacchia. I punti sono stati raggiunti in campo con l'ausilio di un ricevitore GPS. In corrispondenza di ciascun punto di campionamento sono state collocate due aree di saggio circolari concentriche in cui effettuare i rilievi relativi alla struttura a livello di popolamento. In un'area di raggio 12.5 m tutti i fusti con diametro a 1.3 m di altezza (DBH – *diameter at breast height*) maggiore o uguale a 5 cm sono stati mappati con un TruPulse 360b della LaserTechnology (distanza e angolo dal centro dell'area) e si sono rilevati la specie, il DBH, l'altezza totale, l'altezza di inserzione della chioma, le 4 proiezioni al suolo della chioma (N,E,S,O), e le condizioni vegetative. In un'area di 6 m di raggio è stata invece misurata la rinnovazione (DBH < 5 cm; altezza > 50 cm) rilevando la specie, il diametro a 50 cm di altezza, l'altezza e le condizioni vegetative.

Oltre ai classici parametri di densità (fusti ed area basimetrica ad ettaro) e la costruzione delle curve di distribuzione dei diametri e delle altezze, per ogni area sono stati calcolati due indici di diversità strutturale: il *Tree Diameter Diversity* (TDD; Kuuluvainen, Rouvinen, 2000) e il *Tree Height Diversity* (THD) (Kuuluvainen et al., 1996). Il grado di diversità viene misurato applicando la formula di Shannon (Shannon, Weaver, 1949) alla distribuzione dei diametri e delle altezze rispettivamente per il TDD e il THD:

$$H' = - \sum_{i=1}^n (p_i \ln p_i) \quad [1]$$

dove p_i è la proporzione di fusti in una determinata classe di diametro o di altezza ed n il numero totale di classi.

Nel presente lavoro sono state individuate classi di 2.5 cm per i diametri (DBH > 5 cm), mentre per le altezze sono state utilizzate classi di 1 m.

Per l'analisi della struttura a livello di paesaggio si sono calcolati alcuni indici (*class metrics*) per ogni patch di pseudomacchia campionata. Sono stati calcolati indicatori di configurazione (dimensione della *patch*, perimetro), indicatori di forma (indice di forma, dimensione frattale) e indicatori di distanza (distanza minima tra *patches*). Questi indici sono stati scelti in quanto utilizzati per un precedente studio all'interno del parco (Del Favero, 2001) effettuato per tutta la superficie forestale. Per una approfondita spiegazione degli indici utilizzati si veda McGarigal e Marks (1995), facendo riferimento alle formule per dati *vector*.

Attraverso l'analisi delle componenti principali (PCA) i parametri relativi alla struttura a livello di popolamento sono stati messi in relazione con i dati relativi alle *patches* e quindi alla struttura a livello di paesaggio. Per costruire la matrice relativa al popolamento sono state individuate le variabili meno autocorrelate tra i parametri dendrometrici ottenuti per le singole aree di saggio. Sono pertanto state selezionate le seguenti variabili: densità di fusti ad ha (Stems), area basimetrica ad ha (G), TDD, THD, proporzione di fusti (DBH > 5 cm) di erica arborea (EA_adult), proporzione di rinnovazione di erica arborea (Ea_reg), e ricchezza specifica totale della componente arborea (Rich). Per la matrice dei parametri di struttura a livello di *patch* sono stati utilizzati l'area (Size), l'indice di forma (Shape), la dimensione frattale (Fract), la distanza minima tra *patches* (Dist) e la quota del centroide (Quota).

I dati usati nella PCA sono stati precedentemente standardizzati (McCune, Grace, 2002).

La significatività statistica è stata testata attraverso il metodo delle permutazioni di Monte Carlo con 10000 randomizzazioni. Le analisi sono state effettuate con il software PC-ORD 6.0 (McCune, Mefford, 1999).

Assi	PC1	PC2
% varianza spiegata	40.9	23.1
Livello popolamento		
Stems	0.916	0.239
G	0.947	0.130
TDD	0.647	-0.083
THD	0.279	-0.781
EA_adult	0.676	0.299
Ea_reg	-0.203	0.878
Rich	0.363	-0.260
Livello patch		
Size	0.442	0.434
Shape	0.372	0.409
Fract	0.326	0.383
Dist	-0.227	-0.603
Quota	0.038	-0.586

Figura 1 – Coefficienti di correlazione r di Pearson delle variabili a livello di popolamento e di patch con i primi due assi (Stems= densità di fusti ad ha, G= area basimetrica ad ha, TDD= Tree diameter diversity, THD= Tree height diversity, EA_adult= proporzione di fusti (DBH > 5 cm) di erica arborea, Ea_reg= proporzione di rinnovazione di erica arborea, Rich= ricchezza specifica totale della componente arborea, Size= dimensione, Shape= indice di forma, Fract= dimensione frattale, Dist= distanza minima tra patches, Quota= quota del centroide).

Risultati

Delle 25 aree di saggio campionate, 7 sono state scartate in quanto non ascrivibili alla categoria pseudomacchia. Quattro di queste appartenevano ad una singola *patch* di castagneto dei substrati magmatici con elementi mediterranei erroneamente classificata, mentre un'altra area ad una *patch* di rovereto dei substrati carbonatici. Entrambe queste *patches* sono quindi state eliminate dalle analisi. Negli altri due casi i popolamenti erano ormai degradati al tipo forestale del robinieto puro.

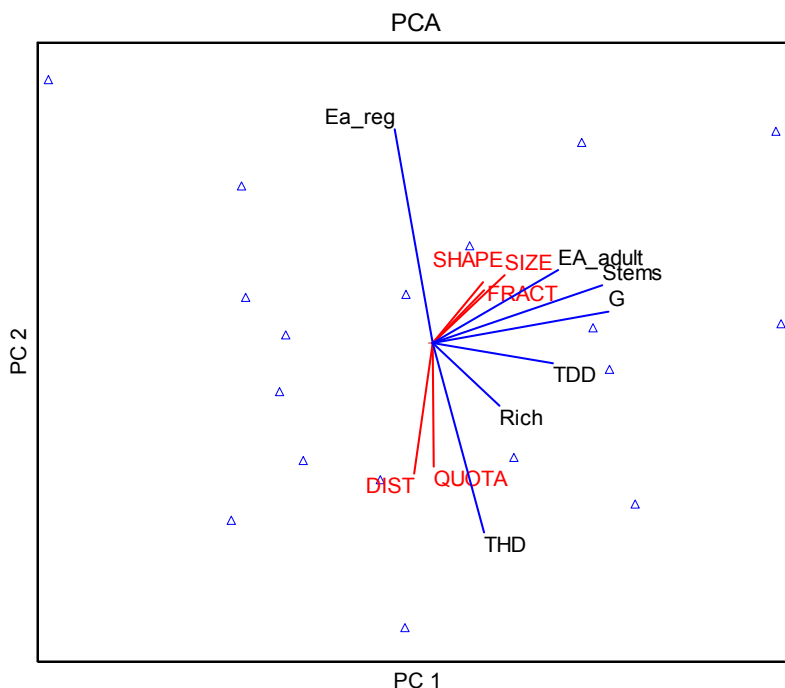


Figura 2 – Analisi delle componenti principali (PCA) della struttura di formazioni a pseudomacchia a livello di popolamento in relazione alla struttura a livello di paesaggio. I vettori in blu rappresentano le variabili che descrivono la struttura a livello di popolamento (*Stems*= densità di fusti ad ha, *G*= area basimetrica ad ha, *TDD*= Tree diameter diversity, *THD*= Tree height diversity, *EA_adult*= proporzione di fusti (*DBH* > 5 cm) di erica arborea, *Ea_reg*= proporzione di rinnovazione di erica arborea, *Rich*= ricchezza specifica totale della componente arborea). I vettori in rosso rappresentano i parametri utilizzati per descrivere la struttura a livello di paesaggio (*Size*= dimensione, *Shape*= indice di forma, *Fract*= dimensione frattale, *Dist*= distanza minima tra *patches*, *Quota*= quota del centroide).

Le specie più rappresentate nello strato arboreo sono il corbezzolo (46.7%), l'orniello (26.1%), la roverella (9.4%), il castagno (7.4%) e l'erica (6.9%). Nella rinnovazione l'erica è risultata la specie più rappresentata (45.7%), seguita dal corbezzolo (30.3%) e dall'orniello (17.2%). La ricchezza totale non supera mai le 7 specie (range 4-7), mentre il valore risulta leggermente più basso per lo strato arboreo e la rinnovazione considerate separatamente (range 3-6 per entrambe).

I primi due assi della PCA spiegano rispettivamente il 40.9% ($p < 0.01$) e il 23.1% della varianza totale (figura 1). Osservando il grafico (figura 2) si evidenzia come l'abbondanza di erica arborea nel piano arboreo sia legata ai popolamenti con maggiore densità (*G*, *stem density*) e che si trovano in *patches* più grandi e complesse (*shape*, *size*, *fract*). La rinnovazione di erica arborea è invece legata principalmente a popolamenti con limitata diversità strutturale (*THD*), distanza da *patches* simili (*DIST*) e quota.

Discussione

L'analisi di campo ha confermato come l'habitat pseudomacchia sia effettivamente soggetto ad una spiccata frammentazione e a contaminazione da parte dei tipi forestali contigui. La diminuzione di superficie dei singoli popolamenti e l'aumentare della distanza reciproca sembra influire negativamente sulla presenza di erica arborea all'interno delle formazioni forestali del Parco. Con la frammentazione in piccole *patches* aumenta di conseguenza il contatto con le altre formazioni, in particolare castagneti, robinieti e querceti. Nelle situazioni in cui la copertura non sia colma e ci sia quindi luce sufficiente per l'insediamento delle specie arboree caratteristiche di questi tipi forestali, la presenza di erica tende a diminuire.

Dal punto di vista gestionale, come già indicato da Del Favero (2001), la ceduzione sembra essere l'unico sistema selvicolturale in grado di garantire la presenza della pseudomacchia nel lungo periodo. L'abbandono culturale porterebbe infatti ad un aumento del numero di specie arboree, con l'ingresso di roverella e orniello nel piano dominante ed una evoluzione verso il querceto dei substrati magmatici.

In condizioni naturali sono i disturbi a mantenere i popolamenti in questo stadio evolutivo, principalmente gli incendi. Infatti le formazioni a pseudomacchia presentano una elevata resilienza al disturbo fuoco grazie al vigoroso riscoppio vegetativo post-disturbo soprattutto per la componente di erica. La pseudomacchia è in grado in tempi relativamente rapidi di ricostituire la copertura totale dell'area percorsa da incendio limitando l'ingresso di altre specie. In assenza di disturbi naturali o di disturbi antropici (ceduzione) la formazione tenderebbe alla successione verso formazioni più evolute (Del Favero 2000). L'ingresso di altre specie avviene più velocemente a partire dalle zone di confine tra i diversi tipi forestali e risulta più rapido nelle aree di dimensione ridotta.

Per la conservazione dei popolamenti occorre quindi intervenire prioritariamente con l'obiettivo di mantenere *patches* grandi e cercare di diminuire o per lo meno mantenere le attuali distanze tra le *patches* vicine, in modo da dare una continuità a livello di paesaggio alla copertura a pseudomacchia. La frammentazione degli habitat forestali è sicuramente uno dei fattori che più concorrono alla diminuzione della biodiversità, e contrastare questo fenomeno viene largamente considerato come un obiettivo prioritario della gestione forestale (Terzioğlu et al., 2009)

Riferimenti bibliografici

- Baudry J, Burel F, Thenail C, Le Cœur D. (2000), "A holistic landscape ecological study of the interactions between farming activities and ecological patterns in Brittany, France", *Landscape and Urban Planning*, 50, 119–128
- Brokaw NVL, Lent RA. (1999), "Vertical structure", in *Maintaining Biodiversity in Forest Ecosystems*, Hunter ML (ed.), Cambridge University Press, Cambridge, 373–399
- Dauber J, Hirsch M, Simmering D, Waldhardt R, Otte A, Wolters V. (2003), "Landscape structure as an indicator of biodiversity: matrix effects on species richness", *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 98, 321–329
- Del Favero R, Andrich O, De Mas G, Lasen C, Poldini L. (1990), *La vegetazione forestale del Veneto. Prodromi di tipologia forestale*, Regione Veneto, Dipartimento Foreste, Mestre-Venezia.
- Del Favero R. (2000), *Biodiversità e indicatori nei tipi forestali del Veneto*, Regione Veneto, Direzione regionale delle foreste e dell'Economia montana, Venezia Mestre, 335 p.
- Del Favero R. (2001), *Progetto Boschi del Parco Regionale dei Colli Euganei*, Parco Regionale dei Colli Euganei e Dipartimento Territorio e Sistemi Agroforestali, Este (PD), 212 p.
- Gaston KJ. (1996), *Biodiversity: a biology of numbers and differences*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK.
- Hanski I. (1999), *Metapopulation Ecology*, Oxford University Press, UK.
- Kuuluvainen T, Leinonen K, Nygren M, Penttinen A. (1996), "Statistical opportunities for comparing stand structural heterogeneity in managed and primeval forests: an example from boreal spruce forest in southern Finland", *Silva Fennica*, 30: 315–328

- Kuuluvainen T, Rouvinen S. (2000), Understory regeneration on two sites of different fire history in a boreal *Pinus sylvestris* forest", *Journal of Vegetation Science*, 11: 801–812
- Lindenmayer DB, Margules, CR, Botkin DB. (2000), "Indicators of biodiversity for ecologically sustainable forest management", *Conservation Biology*, 14, 941–950
- Lindenmayer DB, Cunningham RB. (1997), "Patterns of co-occurrence among arboreal marsupials in the forests of central Victoria, southeastern Australia", *Australian Journal of Ecology*, 22, 340–346
- Lorenzoni G.G. (1968) , "I Colli Euganei. Profilo botanico", *Natura e montagna*, 3: 53–57
- Maclean IMD, Hassal M, Boar RR, Lake IR. (2006), "Effects of disturbance and habitat loss on papyrus-dwelling passerines", *Biological Conservation*, 131, 349–358
- Mazzetti A. (1987), *La flora dei Colli Euganei*, Editoriale Programma, Padova, 223 p.
- McCune B, Grace JB. (2002), *Analysis of ecological communities*, MjM Software Design, Gleneden Beach, USA
- McCune B, Mefford MJ. (1999), PC-ORD. MjM Software Design, Gleneden Beach
- McGarigal K, Marks BJ. (1995), *FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*, Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, OR, 122 p.
- Noss RF. (1990), "Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach", *Conservation Biology*, 4, 355–364
- Pretzsch H. (1997), "Analysis and modeling of spatial stand structures. Methodological considerations based on mixed beech-larch stands in Lower Saxony", *Forest Ecology and Management*, 97, 237–253
- Rosenzweig M. (1995), *Species Diversity in Space and Time*, Cambridge University Press, New York.
- Shannon CE, Weaver W. (1949), *The mathematical theory of communication*, University of Illinois Press, Urbana, IL.
- Terzioğlu S, Zeki Başkent E, İhsan Kadioğulları A. (2009), "Monitoring forest structure at landscape level: a case study of Scots pine forest in NE Turkey", *Environment Monitoring and Assessment*, 152, 71–81
- Torras O, Gil-Tena A, Saura S. (2008), "How does forest landscape structure explain tree species richness in a Mediterranean context?", *Biological Conservation*, 17, 1227–1240
- Van Den Meersschaut D, Vandekerkhove K. (1998), "Development of a stand scale forest biodiversity index based on the State Forest Inventory", in *Integrated Tools for Natural Resources Inventories in the 21st Century*, Hansen M, Burk T. (eds.), USDA, Boise, Idaho, USA, 340–349

Sperimentazione di procedure automatiche in fotogrammetria *close-range* per il rilievo di Beni Culturali

Mauro Lo Brutto, Maria Grazia Spera

DICA, Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Aerospaziale, Università di Palermo
Viale delle Scienze, 90128 Palermo, e-mail mauro.lobrutto@unipa.it, mariagraziaspera@hotmail.it

Riassunto

Lo sviluppo di procedure automatiche in fotogrammetria *close-range* rappresenta attualmente un interessante argomento di ricerca soprattutto per quanto riguarda la fase di orientamento delle immagini. L'automazione del processo è principalmente dovuta all'integrazione tra tecniche derivate dalla *Computer Vision* e tecniche fotogrammetriche che ha consentito di sviluppare software scientifici e commerciali che consentono di eseguire automaticamente il processo di orientamento.

L'obiettivo dello studio svolto è quello di eseguire una prima verifica sulle potenzialità delle procedure automatiche disponibili nel software PhotoModeler Scanner 2011 della EOS Systems. Tali procedure utilizzano la strategia della "*Structure from Motion*" che consente di orientare automaticamente anche un numero molto elevato di immagini. Differenti casi studio, dal punto di vista della forma, della dimensione, del materiale e dei dettagli architettonici, sono stati presi in considerazione per le operazioni di verifica.

Abstract

The development of automatic procedures in close-range photogrammetry is an interesting research topic today especially for the images orientation. The integration of Computer Vision and photogrammetric techniques allows the automation of the process. These techniques have allowed the development of scientific and commercial softwares to automate the process of orientation.

The aim of the study is to test the potential of automated procedures available in the software PhotoModeler Scanner 2011 by EOS Systems. These procedures use the strategy called "Structure from Motion", that automatically orients a large number of images. Different objects were considered for the test in terms of shape, size, materials and architectural details.

Introduzione

La documentazione e la rappresentazione dei Beni Culturali sono da sempre alcuni dei principali argomenti di studio nel campo delle possibili applicazioni della geomatica. In particolare, le attività di ricerca sono indirizzate sia verso lo studio delle possibili applicazioni di strumenti laser con prestazioni sempre più avanzate dal punto di vista della velocità di acquisizione, della accuratezza metrica, delle portate, sia verso lo sviluppo di procedure fotogrammetriche terrestri che consentono un elevato livello di automazione. Quest'ultimo aspetto è diventato un'interessante tematica di ricerca soprattutto per lo sviluppo di procedure fotogrammetriche *close-range* capaci di eseguire in modalità automatica l'intero processo di modellazione tridimensionale. In particolare, le varie fasi di modellazione tridimensionale con tecniche fotogrammetriche possono essere suddivise in: processo di calibrazione della camera, orientamento delle immagini, calcolo della "nuvola di punti", ricostruzione e modellazione (anche tramite applicazione della *texture*) delle superfici dell'oggetto (Barazzetti et. al., 2011a). Tra tutte queste fasi, l'orientamento delle immagini in fotogrammetria *close-range* è stato per diverso tempo eseguito in modalità manuale soprattutto nell'ambito dei

rilievi di Beni Culturali. La difficoltà di applicare tecniche di orientamento automatiche per l'individuazione e la misura dei punti di legame, già da diversi anni utilizzate in fotogrammetria aerea, è soprattutto dovuta alle particolari forme degli oggetti architettonici e/o archeologici che producono immagini con forti variazioni di scala e agli schemi di presa, in genere di tipo convergente, difficilmente riconducibili a configurazioni standard (Barazzetti et. al., 2011b). Negli ultimi anni si è però assistito ad una sempre crescente integrazione tra tecniche derivate dalla *Computer Vision* e tecniche fotogrammetriche. Tale integrazione è una naturale conseguenza della convergenza di obbiettivi che induce sia le tecniche della *Computer Vision* sia quelle fotogrammetriche ad utilizzare immagini digitali per la realizzazione di modelli 3D (Remondino & El-Hakim, 2006). Le due tecniche, anche se hanno la stessa finalità, pongono però particolare attenzione a due differenti aspetti del processo: nella *Computer Vision* l'obiettivo primario è l'automazione del processo, nella fotogrammetria l'accuratezza geometrica del prodotto finale (Barazzetti & Scaioni, 2010a).

L'attività scientifica svolta in ambito nazionale ha portato diversi gruppi di ricerca a sviluppare applicativi che sfruttano i principi della *Computer Vision* per orientare automaticamente sequenze di immagini in rilievi fotogrammetrici terrestri. In particolare, sono utilizzate quelle strategie di orientamento che in *Computer Vision* sono denominate "*Structure from Motion*" o "*Structure and Motion*"; tali strategie consentono di stimare simultaneamente, da un insieme di corrispondenze (*features*) tra le immagini, i parametri di orientamento interno ed esterno e le coordinate dei punti oggetto (Barazzetti et. al., 2011b). L'approccio della "*Structure from Motion*" consente di orientare un numero anche molto elevato di immagini senza necessità di avere delle conoscenze preliminari sulle caratteristiche della camera o sullo schema di presa. Questa modalità di orientamento è impiegata con successo soprattutto in applicazioni web come quelle per la ricostruzione e la rappresentazione di scene (*Photosynth* della Microsoft) o quelle per la modellazione 3D di oggetti o scene (*Project Photofly* della Autodesk Lab). L'affidabilità dal punto di vista geometrico di queste applicazioni è in genere abbastanza limitata e comunque difficilmente valutabile per l'assenza di qualsiasi parametro relativo all'accuratezza del processo.

Gli applicativi scientifici sviluppati in ambito fotogrammetrico sono sostanzialmente basati sull'impiego delle tecniche di "*Structure from Motion*" per l'individuazione automatica dei punti di legame, sull'utilizzo di procedure di stima robuste per l'eliminazione di false corrispondenze ed *outlier* e sul classico approccio fotogrammetrico del *bundle adjustment* per il calcolo dei parametri di orientamento esterno. Si rimanda alla estesa bibliografia esistente sull'argomento (vedi per esempio Barazzetti et al. 2010b; Del Pizzo & Troisi, 2011; Roncella et al., 2011) per maggiori approfondimenti sulle diverse soluzioni adottate. Tali applicativi sono però limitati all'ambito scientifico e difficilmente utilizzabili per un uso generalizzato. Recentemente (fine 2010) è stata però rilasciata una nuova versione del ben noto software PhotoModeler Scanner (ver. 2011) della EOS Systems che implementa una serie di funzioni per l'orientamento automatico delle immagini adottando procedure tipiche della "*Structure from Motion*". Questa prima evoluzione dal punto di vista commerciale nei software di fotogrammetria terrestre sicuramente contribuisce a rendere più semplice ed automatico il rilievo fotogrammetrico soprattutto a vantaggio di tutti quegli utenti meno competenti che sempre più frequentemente si avvicinano ad applicazioni di questo tipo.

L'obiettivo che si è posto la ricerca svolta è stato quello di eseguire una prima verifica sulle reali potenzialità delle procedure automatiche del software PhotoModeler Scanner 2011 tramite l'utilizzo di una serie di differenti casi studio che sono serviti per valutare sperimentalmente la procedura adottata. Sono stati considerati alcuni blocchi fotogrammetrici relativi a rilievi di Beni Culturali con differenti caratteristiche dal punto di vista della forma, della dimensione, del materiale e dei dettagli architettonici; in particolare, gli oggetti presi in esame sono (Figura 1):

- Arula del Tempio della Vittoria conservata presso il museo del sito archeologico di Imera;
- Bassorilievo di Mosè custodito all'interno dell'ex Sanatorio dello Spasimo a Palermo;

- Antefissa a maschera gorgonica conservata presso il museo archeologico di Gela;
- Portale della chiesa di San Giacomo a Gela;
- Porta Aragonese facente parte del complesso del Castello a Mare a Palermo.

I vari oggetti sono rappresentativi di due differenti tipologie di Beni Culturali: quelli di piccole dimensioni (come l'Arula, il Bassorilievo di Mosè e l'Antefissa a maschera gorgonica), che richiedono un elevato livello di dettaglio, e quelli a scala architettonica (come il Portale della chiesa di San Giacomo e la Porta Aragonese), che richiedono un livello di dettaglio inferiore e che comportano problematiche di acquisizioni che dipendono soprattutto dalle condizioni logistiche dei luoghi.

Le fasi del lavoro sono state suddivise in una prima fase di progettazione ed esecuzione delle prese, una seconda fase di esecuzione automatica dell'orientamento, individuando e verificando caso per caso i parametri di input più idonei per ottenere i risultati più soddisfacenti, e una fase finale di estrazione automatica di "nuvole di punti" e di modellazione tridimensionale dei Beni Culturali rilevati.

Tutti i rilievi, tranne quello dell'Arula che è stato realizzato con una camera digitale Canon EOS Mark II, sono stati effettuati con una camera digitale Nikon D3000. Le camere sono sempre state preventivamente calibrate prima di procedere con gli orientamenti.

I risultati conseguiti hanno consentito di effettuare alcune valutazioni relativamente alle procedure adottate e all'accuratezza ottenuta.

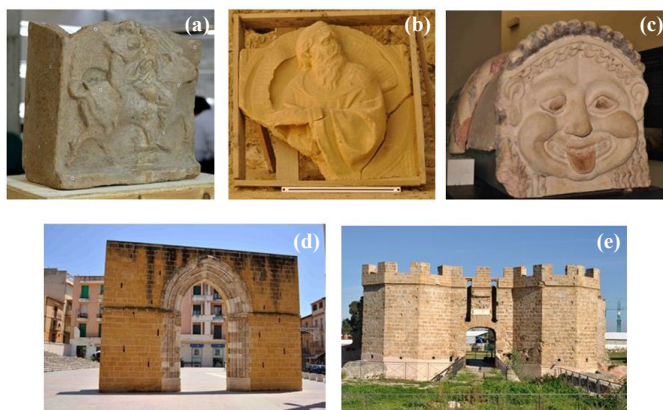


Figura 1 – (a) Arula del Tempio della Vittoria, (b) Bassorilievo di Mosè, (c) Antefissa a maschera gorgonica (d) Portale della Chiesa di S. Giacomo, (e) Porta Aragonese.

Procedure di rilievo

I Beni Culturali individuati per l'esecuzione delle prove sono stati scelti in modo da soddisfare alcuni requisiti minimi per consentire sia l'automazione del processo sia la loro successiva modellazione in 3D. In particolare, sono state valutate la policromia e le caratteristiche dei materiali in quanto sia l'eventuale presenza di superfici troppo omogenee e/o riflettenti sia l'uniformità cromatica potrebbe essere fonte di errore nell'individuazione dei punti omologhi.

Per quanto riguarda l'esecuzione delle riprese fotogrammetriche è stato adottato un approccio di tipo multi-immagine, con prese di tipo convergenti. In quasi tutti i casi si è ipotizzato uno schema a sequenza singola chiusa in maniera tale da avere dei blocchi sufficientemente regolari per ottimizzare i tempi di elaborazione. In alcuni casi la sequenza principale è stata integrata da ulteriori sequenze in posizioni differenti per consentire la corretta chiusura del blocco fotogrammetrico.

Soltanto nel caso del Bassorilievo di Mosè non è stato possibile girare attorno all'oggetto ed è stata eseguita una sequenza aperta.

Durante la fase di presa si è inoltre posto attenzione al ricoprimento tra i fotogrammi successivi e alla porzione di fotogramma occupata dall'oggetto. Per quanto riguarda il ricoprimento sono state considerate basi di presa abbastanza piccole, in rapporto alle dimensioni dell'oggetto del rilievo e alle distanze di presa. In questo modo è possibile contenere variazioni prospettiche e cromatiche tra una presa e la successiva. L'abbracciamento del fotogramma sull'oggetto è stato scelto per ogni manufatto in modo da minimizzare lo sfondo che per prese convergenti a 360° cambia continuamente e quindi può facilmente dare luogo a false correlazioni (Figura 2).

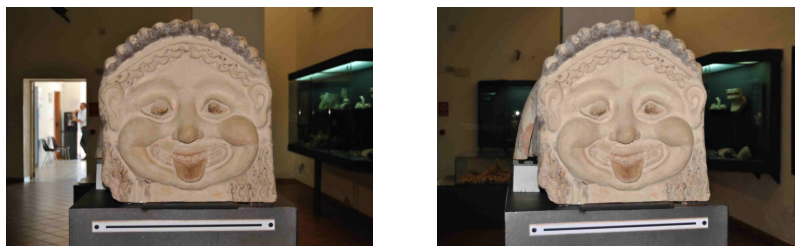


Figura 1 – Esempio di come varia lo sfondo tra due immagini in sequenza (Antefissa a maschera gorgonica).

La distanza di presa e la focale sono state definite in maniera tale che l'oggetto del rilievo rientri nell'intero formato dell'immagine e che il valore di GSD (*Ground Sample Distance*) risulti inferiore al millimetro per gli oggetti a grande scala e di qualche millimetro per quelli a scala architettonica. Sono stati quindi ipotizzati i parametri di presa più congeniali per ogni caso studio ed è stato valutato il numero di fotogrammi per garantire un ricoprimento longitudinale tra le immagini successive dell'80% circa (Tabella 1).

Oggetto	Distanza di presa [m]	Focale [mm]	N. foto	GSD [mm]
Arula del Tempio della Vittoria	1.25	50	28	0.15
Bassorilievo di Mosè	2.00	55	15	0.22
Antefissa a maschera gorgonica	1.20	35	36	0.21
Portale Chiesa S. Giacomo	14.00	24	24	3.56
Porta Aragonese	30.00	35	46	5.23

Tabella 1 – Dati di progetto delle prese fotogrammetriche.

Le procedure adottate per la calibrazione delle camere sono state in alcuni casi quelle standard previste dal software PhotoModeler Scanner adoperando il reticolo di calibrazione (Arula del Tempio della Vittoria, Antefissa a maschera gorgonica) mentre in altri casi effettuando calibrazioni *on-the-job* con prese opportunamente realizzate e con foto ruotate di $\pm 90^\circ$ (Bassorilievo di Mosè, Portale della Chiesa di S. Giacomo, Porta Aragonese).

Il modulo di orientamento automatico di blocchi *close-range* sviluppato nel software PhotoModeler Scanner 2011 e denominato *SmartMatch* consente di individuare automaticamente punti omologhi tra i fotogrammi utilizzando uno degli operatori di interesse più utilizzati nelle applicazioni di *Computer Vision*; in particolare, la ricerca dei punti corrispondenti viene eseguita tramite l'operatore denominato SIFT (*Scale-Invariant Feature Transform* – Lowe, 2004). L'operatore SIFT rappresenta uno standard in molte applicazioni della *Computer Vision* e in molti applicativi

fotogrammetrici di tipo scientifico; è un operatore invariante rispetto a variazioni di scala e rotazioni delle immagini.

La funzione *SmartMatch* può svolgere diversi compiti:

- Orientare le immagini
- Generare una nuvola di punti a bassa densità
- Creare nuvole di punti approssimate, definendo la base per il calcolo di un successivo DSM.

Nell'esecuzione dell'orientamento automatico è possibile impostare alcuni parametri per migliorare e velocizzare il calcolo. Per esempio può essere definita la sequenza di foto che verranno usate nel progetto come sequenze "irregolari" o "disordinate", nel caso in cui la sequenza non è strutturata secondo uno schema prefissato, o come sequenza "regolare" o "ordinata", che può essere aperta o chiusa, nel caso in cui la successione dei fotogrammi segue il classico schema della strisciata fotogrammetrica. È evidente che la possibilità di lavorare con sequenze "ordinate" riduce i tempi di calcolo e la probabilità di eventuali errori in quanto la ricerca di punti omologhi viene svolta su immagini vicine non estendendo il processo all'intero blocco.

È possibile inoltre definire il numero massimo di punti omologhi (*SmartPoints*) da individuare su ogni singola immagine, il numero di immagini in sequenza da accoppiare su cui effettuare la ricerca degli *SmartPoints* e una soglia limite (*Cutoff Theshold*), definita in percentuale, che imposta il minimo numero di relazioni che deve avere una coppia di punti per essere riconosciuta fra gli *SmartPoints*.

Nell'ultima fase del rilievo fotogrammetrico finalizzato all'estrazione automatica di "nuvole di punti" e alla modellazione tridimensionale dei Beni rilevati si è sfruttato la disponibilità dei punti calcolato in fase di orientamento per disporre di un modello a bassa risoluzione dell'oggetto da utilizzare come base di partenza per il calcolo di un modello 3D ad elevata risoluzione. Individuando le coppie di immagini con un adeguato rapporto base/distanza di presa è possibile ricalcolare e ottimizzare con tempi di elaborazione molto ridotti la superficie dell'oggetto.

Arula del Tempio della Vittoria

L'Arula in esame è un reperto del Tempio della Vittoria del sito archeologico a Imera. Dalle documentazioni storiche si deduce che il Tempio della Vittoria fu costruito intorno al 480 a. C. quando il sito di Imera era una colonia greca di notevole importanza. Del Tempio, che presentava caratteristiche simili a quelle dei templi agrigentini, sono rimaste soltanto poche tracce; la maggior parte di frammenti e dei reperti è conservata presso il museo archeologico dello stesso sito. L'Arula è una piccola ara con decorazione a rilievo su uno dei lati raffigurante un vecchio alato in volo che trasporta il corpo esanime di un giovinetto, probabilmente riferibile al mito di Dedalo e Icaro.

L'Arula ha dimensioni abbastanza ridotte (32 cm x 26 cm x 15 cm) ed è stata rilevata con una sequenza ordinata e chiusa di immagini con una distanza camera-oggetto e una base di presa molto regolari grazie alle favorevoli condizioni logistiche. Inoltre, l'impiego di un dispositivo di illuminazione artificiale ha garantito l'assenza di variazioni cromatiche significative tra le immagini.

La procedura per l'orientamento automatico è riuscita ad orientare in pochi minuti tutto il blocco nonostante nelle prese laterali l'oggetto occupi soltanto una piccola parte del fotogramma (Figura 3). Il modello fotogrammetrico è stato messo in scala grazie all'impiego di due barre calibrate collocate sul fronte e sul retro dell'Arula. La nuvola a bassa risoluzione è stata utilizzata come base per il successivo calcolo del modello 3D con un passo di 1 mm (Figura 4).

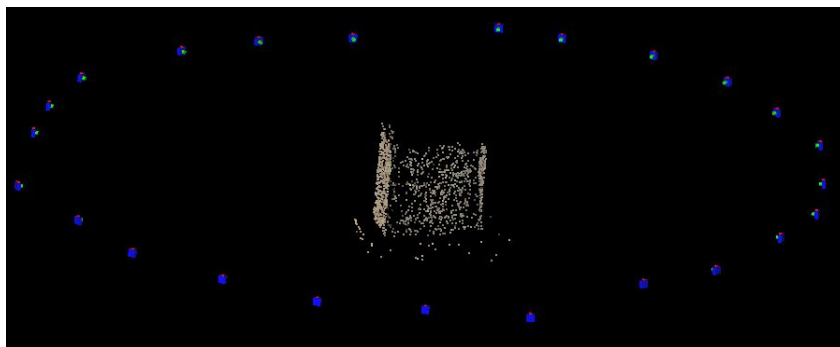


Figura 3 – Schema delle prese dell'Arula.

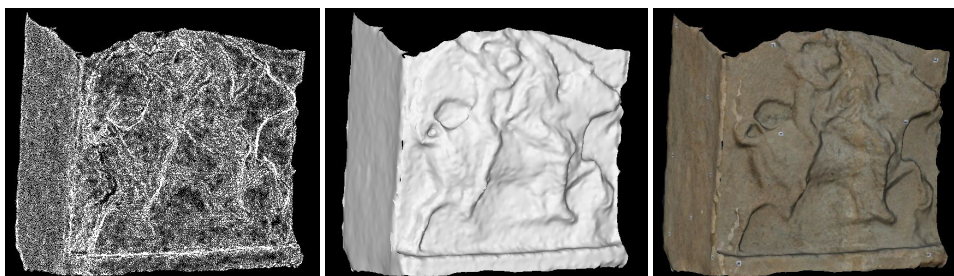


Figura 4 – Visualizzazione per punti (a sinistra), shaded (centrale) e con texture (a destra) del modello 3D dell'Arula del Tempio della Vittoria.

Bassorilievo di Mosè

Il Bassorilievo di Mosè è custodito all'interno dell'ex Sanatorio dello Spasimo, meglio conosciuto con il nome di chiesa di Santa Maria dello Spasimo. La chiesa si trova nel quartiere della Kalsa, uno dei più antichi quartieri della città di Palermo. L'antico edificio fu costruito nel 1509 e negli anni ha cambiato diverse volte destinazione d'uso passando da chiesa, a sede per spettacoli pubblici, a lazzaretto per gli ammalati, a granaio e magazzino. Attualmente è stato ristrutturato ed adibito a sede espositiva e per spettacoli e rappresentazioni.

Il Bassorilievo di Mosè è un oggetto di ridotte dimensioni (77 cm x 58 cm x 12 cm) che è stato rilevato con una sequenza ordinata aperta di 12 foto. La fase di presa è risultata un po' problematica per le condizioni di luminosità del sito in quanto il Bassorilievo è posto a terra sotto un portico privo di illuminazione artificiale. Le immagini sono infatti risultate poco nitide. Si è però preferito non rifare le prese per disporre anche di un set di immagini non proprio ideali.

Impostati i parametri per la ricerca dei punti omologhi si è proceduto con l'orientamento automatico. Nonostante le basse aspettative, il processo di orientamento è andato a buon fine in meno di un minuto (Figura 5).

La scala del modello fotogrammetrico è stata definita grazie all'impiego di tre barre calibrate collocate una sul fronte e due sui lati del bassorilievo. In particolare, ne sono state usate due per definire la scala ed una come controllo; quest'ultima ha riportato un residuo di 0,02 mm.

A partire dalla "nuvola di punti" realizzata in fase d'orientamento, è stata applicata la procedura di autocorrelazione a due coppie di fotogrammi calcolando un modello 3D con un passo di 4 mm (Figura 6).



Figura 5 – SmartPoints individuati automaticamente per il Bassorilievo di Mosè.

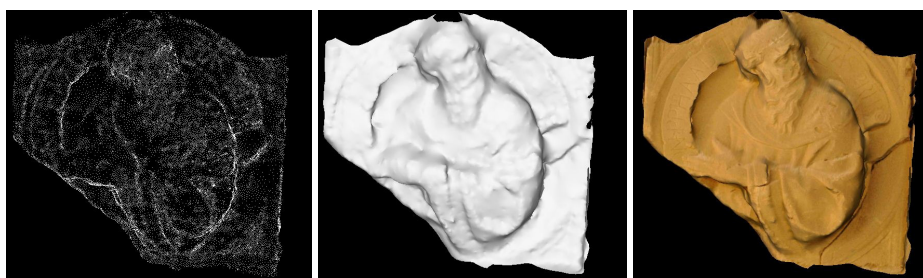


Figura 6 – Visualizzazione per punti (a sinistra), shaded (centrale) e con texture (a destra) del modello 3D del Bassorilievo di Mosè.

Antefissa a maschera gorgonica

L'antefissa è un elemento che solitamente era posto sulla testata delle travi del tetto o a occlusione dei canali terminali delle tegole. L'Antefissa a maschera gorgonica presa in considerazione risale all'età greca intorno al VI secolo a.C. è una delle sculture in terracotta più importanti della collezione del museo archeologico di Gela.

Anche questo oggetto è di ridotte dimensioni (30 cm x 30 cm x 90 cm) ma è caratterizzato da estensioni diverse nei vari lati; inoltre, le caratteristiche cromatiche nei due lati lunghi dell'oggetto sono un po' diverse. Le prese sono state realizzate secondo una sequenza ordinata da circa 1.20 m.

Il calcolo dell'orientamento è risultato più difficoltoso del previsto. Il collegamento tra i due lati lunghi è risultato problematico; in particolare, anche se l'orientamento sembrava risolto, la posizione delle camere e dei punti sui lati lunghi era completamente sbagliata.

È stato quindi necessario individuare in maniera più opportuna i parametri di ricerca dei punti omologhi e inserire, nella parte relativa alla maschera, delle foto realizzate da una distanza inferiore (1 m); in questo modo si è riusciti ad orientare correttamente tutta la sequenza (Figura 7). Questa situazione evidenzia come, anche avendo a disposizione strumenti software sufficientemente potenti dal punto di vista del calcolo e facilmente utilizzabili, in situazioni particolari è comunque indispensabile avere delle conoscenze teoriche che consentono di intervenire per migliorare le procedure di elaborazione.

Per la messa in scala del modello fotogrammetrico sono state posizionate 4 barre calibrate, una per lato. Le due barre sui lati lunghi sono state utilizzate per definire la scala, mentre quelle collocate sul fronte e sul retro sono state usate come controllo; queste ultime hanno riportato un residuo di 0,19 mm e 0,45 mm. Successivamente, utilizzando la nuvola di punti a bassa risoluzione derivante dalla fase di orientamento, è stato calcolato un modello 3D con un passo di 6 mm sfruttando 7 coppie di immagini (Figura 8).

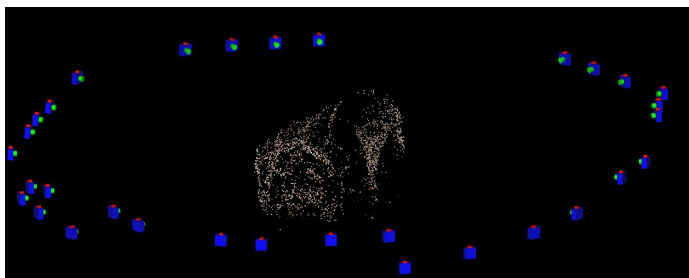


Figura 7 – Schema delle prese dell'Antefissa.



Figura 8 – Visualizzazione per punti (a sinistra), shaded (centrale) e con texture (a destra) del modello 3D dell'Antefissa Gorgonica.

Portale della chiesa di San Giacomo

Il portale dell'antica chiesetta di S. Giacomo risale al XIV secolo ed è caratterizzato da un arco a sesto acuto di modeste dimensioni pari a circa 9,00 m x 6,80 m x 0,90 m. Nel 1951 l'antica chiesetta è stata demolita per far spazio all'oratorio della nuova chiesa, costruita adiacente alla vecchia. Visto l'importanza architettonica dell'arco, prima di procedere con la demolizione, si è deciso di numerare e conservare i pezzi che lo costituivano. Successivamente alcune associazioni si sono interessate al recupero e alla ricostruzione di quest'ultimo; così negli anni ottanta fu redatto il primo progetto e dopo circa mezzo secolo (1999), con l'ausilio di vecchie foto che ritraevano il portale e della numerazione dei pezzi che lo costituiscono, sono stati ultimati i lavori.

Il portale è posizionato in una piazza con ampia libertà di movimento; ciò ha consentito di eseguire una sequenza chiusa di immagini pressoché dalla stessa distanza.

Nella fase di orientamento si è riscontrato un problema dovuto dalle diverse dimensioni dei prospetti. Infatti, i due prospetti laterali hanno dimensioni ridotte rispetto agli altri due. Tale condizione non consentiva di collegare la sequenza del prospetto principale con il prospetto interno (Figura 9).

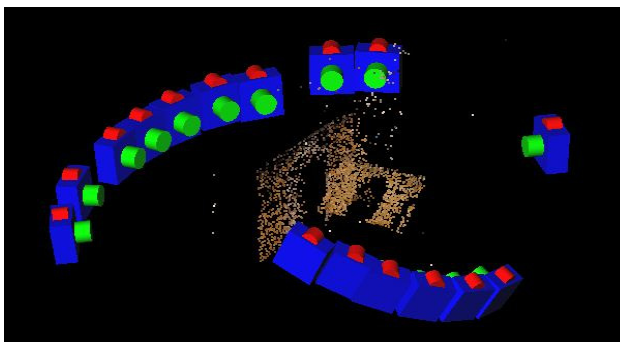


Figura 9 – Schema delle prese relative all'orientamento non corretto del Portale di S. Giacomo.

Si è quindi provato a variare i parametri di orientamento soprattutto per quanto riguarda il numero di foto in sequenza su cui cercare punti omologhi. Impostando la ricerca su sei foto vicine, anche se i punti trovati sui prospetti minori erano pochi è aumentata la loro molteplicità, che unita ad una buona ridondanza di punti nei prospetti più grandi, ha permesso l'orientamento del blocco. Soltanto una immagine della sequenza relativa al lato corto non è stata orientata a causa delle dimensioni ridotte del portale e delle notevoli differenze nello sfondo con le immagini vicine; considerando l'elevato ricoprimento tra le foto la sequenza è stata comunque chiusa correttamente (Figure 10). La scala del modello fotogrammetrico è stata definita grazie a delle misure rilevate durante la fase di ripresa e anche in questo caso è stato calcolato un modello 3D integrando la "nuvola di punti" iniziale e impostando una risoluzione di 2 cm (Figure 11).

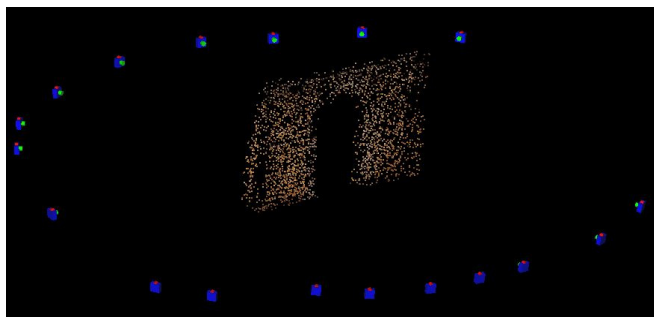


Figura 10 – Schema delle prese dell'Antefissa.

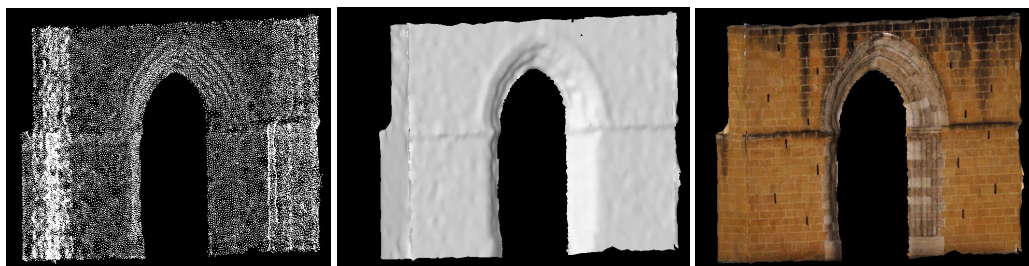


Figura 11 – Visualizzazione per punti (a sinistra), shaded (centrale) e con texture (a destra) del modello 3D del Portale della chiesa di San Giacomo.

Porta Aragonese

La Porta Aragonese è parte di ciò che resta del Castello a Mare a Palermo. Dell'esistenza di un presidio fortificato posto sull'imboccatura dell'antico porto di Palermo antecedente il X secolo, non si ha tutt'oggi certezza. Infatti, prima di tale data non si hanno fonti sicure, solo notizie pervenute attraverso ricostruzioni storiche. Grazie a queste è ipotizzabile che il Castello a Mare fosse una fortificazione di epoca araba a pianta quadrilatera con torri poligonali ai quattro angoli.

L'oggetto di studio ha dimensioni di 25,70 m x 8,50 m x 11,00 m ed è costituito da un nucleo centrale, con fornice ad arco policentrico, affiancato da due torri poligonali scarpate alla base.

Il rilievo della Porta Aragonese è stato sicuramente il più difficoltoso infatti, anche se intorno c'è un ampio spazio che consente grandi possibilità di movimento, il terreno presenta notevoli differenze di quota per l'esistenza di un ampio fossato. Tale situazione ha comportato l'esecuzione di una sequenza chiusa non molto regolare, ma con immagini riprese da quote e distanze anche molto diverse. Inoltre, a causa della diversa esposizione della Porta durante la fase di presa alcune sequenze di foto sono risultate in condizioni di illuminazione molto diverse (Figure 12).



Figura 12 – Variazioni cromatiche significative tra foto della stessa sequenza.

Questa condizione è risultata determinante per la riuscita della procedura automatica. Infatti, eseguendo delle prove utilizzando tutti i fotogrammi la procedura non riusciva a chiudere correttamente la sequenza (Figura 13), facendo ipotizzare che il blocco non potesse essere orientato in maniera automatica.

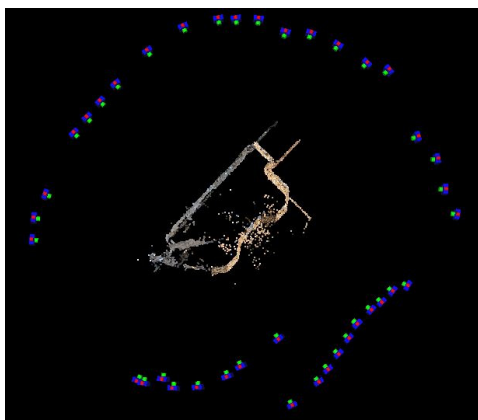


Figura 13 – Schema delle prese relative all'orientamento non corretto della Porta Aragonese.

Per ovviare ai problemi riscontrati e utilizzare comunque la procedura automatica, i fotogrammi sono stati suddivisi in quattro blocchi. Impostando la ricerca di punti omologhi in tre foto vicine, sono state caricate ed orientate automaticamente le prime otto foto. Successivamente, sono state inserite prima altre 9 foto, poi altre 20 foto e infine le rimanenti 4. In questo modo è stato possibile chiudere la sequenza (Figura 14). Infine, la modellazione della Porta Aragonese è avvenuta integrando la “nuvola di punti” ottenuta inseguito alla fase di orientamento, che presenta già una risoluzione abbastanza elevata, per definire meglio i contorni dell’oggetto (Figura 15).

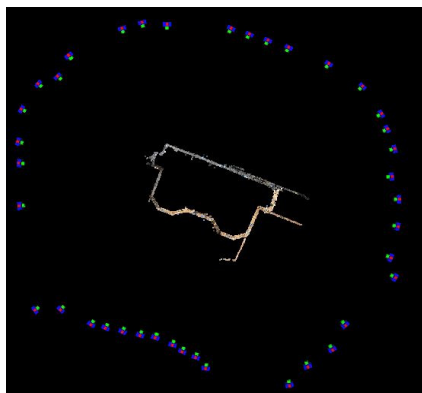


Figura 14 – Schema della sequenza della Porta Aragonese.



Figura 15 – Visualizzazione per punti (a sinistra), shaded (centrale) e con texture (a destra) del modello 3D della Porta Aragonese.

	N. max di SmartPoint	N. di immagini in sequenza da correlare	Cutoff Theshold	S.q.m. (pixel)	N. Punti	Tempo	N. Foto	Sequenza
Arula del Tempio della Vittoria	500	2	25	1.0	3808	00.03.21	24	Ordinata chiusa
Bassorilievo di Mosè	300	3	30	0.9	1155	00.00.51	12	Ordinata aperta
Antefissa a maschera gorgonica	300	1	20	0.9	2245	00.02.21	32	Ordinata aperta
Portale di S. Giacomo	250	6	35	1.0	2782	00.01.09	19	Ordinata chiusa
Porta Aragonese	500	3	30	0.9	8997	00.05.22	41	Ordinata chiusa

Tabella 2 – Parametri e risultati delle procedure di orientamento automatico dei casi studio considerati.

Conclusioni

Le procedure di orientamento automatico in fotogrammetria *close-range* rappresentano una notevole evoluzione dal punto di vista operativo soprattutto per rilievi di Beni Culturali dove è meno frequente l'impiego di target (anche codificati) per individuare punti di legame e dove il numero di immagini per descrivere e soprattutto per modellare in 3D può essere anche molto elevato.

L'integrazione tra le tecniche della *Computer Vision* e quelle fotogrammetriche si è rivelata molto utile per migliorare ed implementare software ed applicativi che riescono ad orientare blocchi di fotogrammetria terrestre anche con caratteristiche molto differenti.

La possibilità di utilizzare un software commerciale come PhotoModeler Scanner 2011 rende tale approccio facilmente utilizzabile anche ad utenti non esperti.

I risultati conseguiti hanno sostanzialmente confermato le potenzialità delle procedure automatiche utilizzate; in tutti i casi considerati i residui complessivi (rappresentati dalla s.q.m. su migliaia di punti omologhi) sono risultati pari a circa 1 pixel. Tale valore potrebbe essere considerato leggermente superiore o analogo a quanto normalmente si ottiene con orientamenti manuali senza l'ausilio di target; un confronto tra i due differenti approcci sarà prossimamente svolto per valutare proprio questi aspetti.

La ricerca ha evidenziato comunque alcuni punti critici dovuti soprattutto a problemi legati alle caratteristiche delle immagini e alla conformazione del blocco. Infatti, in diversi casi è stato necessario "aiutare" il processo automatico tramite l'inserimento di ulteriori immagini o tramite la suddivisione della sequenza di immagini in sotto blocchi di dimensioni ridotte per consentire il calcolo dei parametri di orientamento esterno corretti. Inoltre la scelta dei parametri di calcolo utilizzati in PhotoModeler Scanner per la ricerca dei punti omologhi non va sottovalutata in quanto potrebbe influenzare in maniera decisiva la risoluzione del calcolo. Unico aspetto negativo da sottolineare è la mancanza di strumenti di controllo adeguati per le verifiche sugli orientamenti.

Ringraziamenti

Ricerca svolta nell'ambito del progetto PRIN2008 dal titolo "ICT e Beni Culturali. Tecnologie Informative innovative e Sistemi Cognitivi per la rappresentazione 3D". Coordinatore nazionale: Prof.ssa Raffaella Brumana.

Riferimenti bibliografici

Barazzetti L., Scaioni M. (2010), "Dalle immagini dell'oggetto alla replica fisica in modalità automatica", *Atti 14^a Conferenza Nazionale ASITA*, Brescia, 9-12 novembre 2011, 149-154.

Barazzetti L., Remondino F., Scaioni M. (2010), "Orientation and 3D modelling from markerless terrestrial images: combining accuracy with automation", *The Photogrammetric Record*, 25(132): 356-381.

Barazzetti L., Remondino F., Scaioni M. (2011a), "Automated and accurate orientation of complex image sequences", *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVIII-5/W16, Trento, 2-5 Marzo 2011, 8 pp., su CD-ROM.

Barazzetti L., Roncella R., Forlani G., Remondino F., Scaioni M. (2011b), "Orientamento automatico di blocchi fotogrammetrici in ambito close-range: stato dell'arte e prospettive della ricerca", *Atti Geomatica, le radici del futuro. Tributo a Sergio Dequal e Riccardo Galetto*, 10-11 Febbraio, Pavia.

Del Pizzo S., Troisi S. (2011), "Automatic orientation of image sequences in cultural heritage", *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVIII-5/W16, Trento, 2-5 Marzo 2011, 8 pp.

Lowe D. (2004), "Distinctive image features from scale-invariant keypoints". *International Journal of Computer Vision*, 60(2): 91-110.

Remondino F., El-Hakim S. (2006), "Image-based 3D modelling: a review", *Photogrammetric Record*, 21(115): 269-291.

Roncella R., Re C., Forlani G. (2011), "Performance evaluation of a structure and motion strategy in Architecture and cultural heritage", *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVIII-5/W16, Trento, 2-5 Marzo 2011, 8 pp.

Elaborazione di un indice per il monitoraggio della desertificazione da dati telerilevati

Sergio Lo Curzio), Filippo Russo

Dipartimento di Scienze per la Biologia, la Geologia e l'Ambiente, Università del Sannio
Via dei Mulini 59/A, 82100 Benevento (Italia), Tel. 0824-323659, Fax 0824-323623

Riassunto

La desertificazione è uno dei problemi ecologici e ambientali che affligge gravemente le regioni dell'Italia centro-meridionale e insulare esposte a stress di natura climatica. Infatti, la desertificazione implica la perdita irreversibile o difficilmente reversibile della possibilità di una produzione agricola e forestale economicamente o ecologicamente sostenibile nonché compromette pesantemente lo sviluppo sociale e l'economia correlata.

In questo lavoro viene proposta una nuova procedura tecnica, basata su dati telerilevati, per ricavare un indice di desertificazione (*DI - Desertification Index*) per il rilevamento e il monitoraggio di aree soggette a desertificazione a grande scala. In accordo con gli studi precedenti sul medesimo argomento, sono stati selezionati quattro parametri geoambientali (Albedo, *FPAR*, *LST*, *NDVI*), ritenuti indicatori della desertificazione, ottenuti dall'analisi dei prodotti MODIS. Utilizzando algoritmi di *Map Algebra* questi parametri sono stati elaborati per ottenere un indice di desertificazione su base annua con relativa mappatura all'interno di un sistema informativo geografico (GIS).

La mappa ottenuta rappresenta la spazializzazione dell'indice di desertificazione dell'area di studio considerata ovvero l'Italia centro-meridionale e parte della regione balcanica e albanese. Il calcolo dell'indice è stato effettuato in modo da assumere valori compresi tra 0 e 1.

La metodologia proposta per determinare l'Indice di Desertificazione (*DI*) da dati MODIS risulta speditiva e pienamente coerente con i risultati ottenuti con altre metodologie utilizzate per rappresentare lo stesso fenomeno, come si evince dai confronti effettuati.

Abstract

Desertification is an ecological and environmental problem seriously affecting the Central and Southern regions of Italy and part of the Albanian-Balkan region. In fact, they are exposed to climatic stress. Desertification implies irreversible, or difficult to reverse, loss of the ability of agricultural and forestry production. That are economically or ecologically sustainable and severely impairs social development and economy related.

In this paper we propose a new technical procedure, based on remote sensing data, finalized to derive a desertification index (*DI - Desertification Index*) for the large scale surveying and monitoring areas affected to desertification.

In agreement with previous studies on this subject, four geo-environmental parameters (Albedo, *LST*, *NDVI*, *FPAR*), indicator-likes of desertification, were selected from the MODIS products. These parameters have been processed using *Map Algebra* algorithms to have an yearly desertification index and its mapping in a Geographic Information System (GIS).

The map obtained represents the spatialization of the desertification index of the study area (the Central-Southern Italy and part of the Albanian-Balkan region). The calculation of the index was made to assume values between 0 and 1.

The proposed methodology to determine the Desertification Index (DI) from MODIS data is speed and fully consistent with the results derived by other methodologies used to represent the same phenomenon, as evidenced by the comparisons we made.

Introduzione

Quando si parla di desertificazione non ci si riferisce solo alla espansione naturale dei deserti ("desertizzazione"), ma anche a tutti quei processi sociali ed economici che comportano il depauperamento delle risorse naturali. Quest'ultimo si manifesta spesso con il degrado del potenziale vitale dei terreni anche a causa di pratiche agricole (ma non solo) insostenibili, di eccessiva pressione demografica e di cattiva gestione politica del territorio e delle sue risorse. Talvolta ad aggravare questo fenomeno concorrono anche gli eventi calamitosi naturali (cambiamenti climatici, erosione idrica e/o eolica, salinizzazione dei terreni, ecc.), sempre più catastrofici perché risultano da squilibri ambientali determinati da inopportuni interventi antropici.

Middleton e Thomas (1992) hanno definito la desertificazione come il <<...degrado delle terre nelle aree aride, semi-aride e sub-umide secche, attribuibile a varie cause, fra le quali le variazioni climatiche e le attività umane...>>, tale definizione circoscrive il fenomeno ad un ambito di territoriale ristretto caratterizzato da precise caratteristiche climatiche, introducendo esplicitamente fra le cause del fenomeno, oltre all'azione dell'uomo, anche le variazioni climatiche.

In relazione a questa definizione, vari autori (Middleton, Thomas, 1992; Eswaran H., Reich P., 1998; Enne, Zucca, 2000; Liu et al., 2005; Kosmas et al, 1999; 2005; Costantini et al., 2007) hanno caratterizzato in modi diversi la desertificazione e di conseguenza la mappatura delle aree che ne sono interessate. Alcuni di questi (Basso et al., 2000; Liu et al., 2005; Ladisa et al., 2011) hanno proposto metodologie e procedure diverse, basate su vari parametri fisici e ambientali, per rilevare e monitorare il fenomeno a varie scale. Tali metodologie sono ampiamente applicate ma necessitano di molti dati di *input*, talvolta difficili da ottenere. Inoltre, i risultati non sono facilmente confrontabili o sovrapponibili in quanto non corrispondono a procedure standardizzate e per questo non sono facilmente ripetibili.

Carte del rischio di desertificazione in Italia sono già state realizzate in tempi e con scale diverse (p. es.: Kosmas et al., 1999; Costantini et al., 2007). In esse sono stati combinati in un unico indice attributi diversi riguardanti il clima, il suolo, la vegetazione e gli aspetti socio-economici, per stimare le pressioni agenti sul territorio e lo stato del suolo e della vegetazione. I risultati sono molto diversi in funzione delle banche dati e conoscenze utilizzate, più ancora che dell'approccio metodologico scelto.

Con questo lavoro si vuole proporre una più semplice e speditiva procedura basata su dati satellitari per rilevare e mappare il fenomeno desertificazione, attraverso la definizione di un indice ricavato dall'elaborazione di alcuni indicatori o parametri geoambientali, come FPAR, Albedo, NDVI e LST. Tali indicatori, rilevati da immagini satellitari MODIS, rappresentano in questo studio uno strumento appropriato per fornire un supporto operativo ad un ampio spettro di attività tra cui la stima, la valutazione e la mappatura delle aree desertificate. Con essi si intende raggiungere lo scopo di realizzare un'osservazione sistematica della *Land degradation* per ottenere una migliore comprensione del fenomeno: in questo senso diventa fondamentale il contributo dei dati satellitari legati agli aspetti climatici, in particolare alla desertificazione, in quanto forniscono una visione macroscopica delle variabili ambientali e la loro evoluzione nel tempo.

Materiali e metodi

Il principale dato utilizzato è quello del sensore MODIS, disponibile sui satelliti Terra e Aqua della NASA. I dati di *input*, di seguito elencati, sono riferiti al periodo 2000-2010 e provengono dal sito della NASA (<http://modis.gsfc.nasa.gov>):

- MODIS/Terra+Aqua Leaf Area Index/FPAR 8-Day L4 Global 1km SIN Grid V005 (44.9137° Lat, 22.0562° Long);
- MODIS/Terra+Aqua Albedo 16-Day L3 Global 1km SIN Grid V005;

- MODIS/Aqua Land Surface Temperature/Emissivity Daily L3 Global 1km SIN Grid V004 (45.0000° Lat, 22.0786° Long);
- MODIS/Terra Land Surface Temperature/Emissivity Daily L3 Global 1km SIN Grid V005 (45.0000° Lat, 22.0786° Long);
- MODIS/Aqua Vegetation Indices 16-Day L3 Global 1km SIN Grid V005 (44.9137° Lat, 22.0562° Long);
- MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 1km SIN Grid V005 (44.9137° Lat, 22.0562° Long).

Da questi dati di *input* sono stati selezionati i seguenti quattro indicatori o parametri geoambientali che caratterizzano o influenzano il fenomeno della desertificazione:

1) L'indicatore o parametro FPAR (*Fraction of absorbed Photosynthetically Active Radiation*, 400-700 nm) rappresenta la frazione di radiazione fotosinteticamente attiva. Esso misura quanta radiazione, in queste lunghezze d'onda, assorbe la copertura vegetale. Lo studio di questo indicatore aiuta ad ottenere risposte sui cambiamenti degli ecosistemi e in particolare quelli ambientali globali riguardanti la copertura del suolo e le relative cause (Myneni et al., 1997).

2) L'Albedo è la quantità di radiazione solare riflessa verso lo spazio direttamente dalla superficie terrestre. Si tratta di un parametro importante per la modellizzazione della superficie e del clima e dei diversi fattori che li influenzano. Tra questi, particolarmente importante è il ruolo della vegetazione; infatti, Löw et al. (2008) e SEDAC (2009) sostengono che <<... la progressiva eliminazione della vegetazione cambia l'albedo superficiale e può anche ridurre l'umidità atmosferica influenzando la formazione delle nubi e delle precipitazioni...>>.

3) La temperatura della superficie terrestre (*LST – Land Surface Temperature*) è un parametro chiave nella dinamica dei processi che avvengono sul rilievo terrestre, sia a scala regionale che globale, in quanto è coinvolta, a vari livelli, nel bilancio energetico (Crag et al., 1995; Diak, Whipple, 1993). Essa è determinante ai fini della desertificazione e nei processi di evapotraspirazione (Yu et al., 1995). Per tale motivo *LST* è un buon indicatore della degradazione del paesaggio (*Land degradation*) e dei cambiamenti climatici e morfologici che lo caratterizzano.

4) Il *Normalised Difference Vegetation Index (NDVI)* è il più noto e maggiormente utilizzato degli indici di vegetazione, questo indice è il risultato della differenza normalizzata tra la radiazione registrata nell'infrarosso vicino e quella del rosso (Rouse et al., 1974). Esso è stato ampiamente utilizzato per monitorare da satellite lo stato di salute della vegetazione.

Il software utilizzato per l'analisi e l'elaborazione dei dati MODIS è ENVI 4.5. In particolare è stato utilizzato il modulo aggiuntivo MODIS Conversion Toolkit (MCTK) che è una *utility* per la conversione e proiezione di tutti i prodotti MODIS conosciuti e che restituisce in *output* almeno un formato dati ENVI. Per l'analisi, la visualizzazione e la rappresentazione dei dati è stato utilizzato il software ArcGis 9.2 con i vari moduli applicativi.

La pre-elaborazione dei dati

La pre-elaborazione dei dati relativi agli indicatori prescelti (FPAR, Albedo, LST e NDVI) ha previsto in *primis* la ri-proiezione dei dati dalla primitiva proiezione Equivalente Sinusoidale (SIN) alla proiezione Universale Trasversa di Mercator (*Universal Transverse Mercator, UTM Zone 33, WGS84*). Successivamente è stato effettuato il ricampionamento con l'algoritmo *Nearest Neighbour (NN)* in quanto è il solo in grado di mantenere la struttura codificata dei bit durante il ricampionamento senza l'interpolazione fra i valori dei bit esistenti. Il numero di *warp-point* utilizzato è 50x50 che si traduce in 2.500 punti di controllo a terra (*Ground Control Points - GCPs*) distribuiti uniformemente in tutta l'area esaminata ovvero l'Italia centro-meridionale e parte delle regioni albanese e balcanica (fig 1).

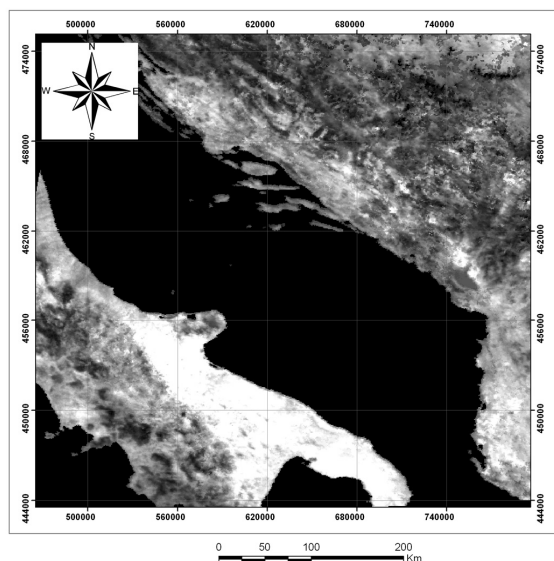


Figura 1 – Rappresentazione dell'area di studio.

I dati sono stati convertiti nel formato *img format* (.img) per poter essere analizzati e rappresentati nel software GIS utilizzato (fig. 2).

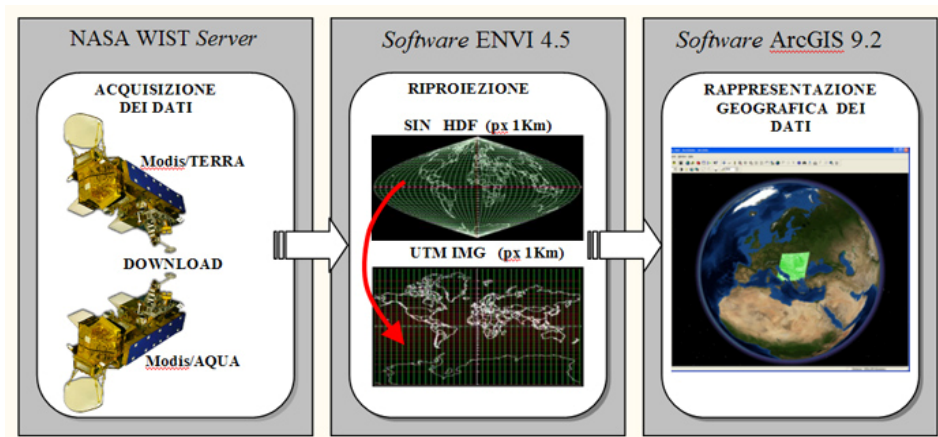


Figura 2 – Schema semplificato delle procedure di acquisizione, di pre-elaborazione e di rappresentazione.

I risultati ottenuti con la pre-elaborazione, illustrati nella figura 2, hanno permesso di ottenere una mappatura temporale (periodo 2000-2010) dei dati relativi agli indicatori prescelti. Le caratteristiche di questi dati sono riportati nella figura 3.

Copertura temporale	Dal 24 Febbraio, 2000
Area	~10 x 10 gradi lat/long
Dimensioni File	~ 7 MB
Proiezione	UTM
Formato Dati	<i>img format</i>
Dimensione immagine	1200 x 1200 righe/colonne
Risoluzione	1Km

Figura 3 – Caratteristiche dei dati di output.

Tale mappatura è un passaggio importante per poter organizzare le informazioni sul territorio esaminato. Tali informazioni sono di tipo quali-quantitativo e finalizzate ad avere una visione globale dei dati. Inoltre, in un'ottica multitemporale, la corretta rappresentazione dei dati ottenuti con le procedure descritte, consente un'agevole monitoraggio del territorio.

I prodotti ottenuti sono stati importati e gestiti all'interno del Sistema Informativo Geografico (GIS) che ha permesso di effettuare rapide ed approfondite analisi spaziali sui dati territoriali. Per la rappresentazione dei dati, oltre alla forma proiettata (fig. 2), è stata scelta la soluzione della visualizzazione virtuale sul globo in ambiente GIS (fig. 4). Questa scelta permette la gestione di grandi moli di dati, quali sono appunto i dati satellitari, una visione d'insieme e tutte le analisi che possono essere effettuate con un *software* GIS.

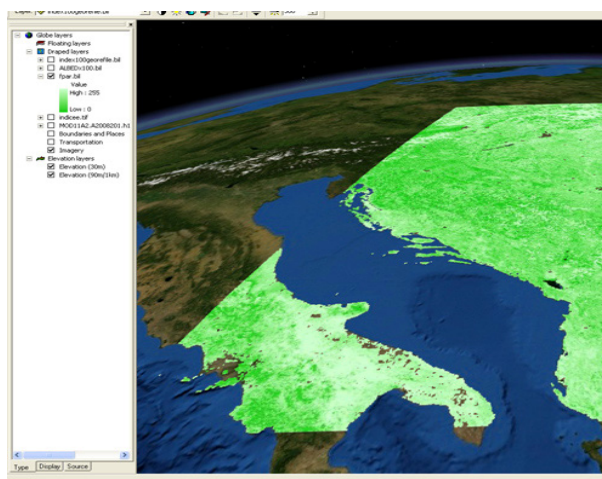


Figura 4 – Esempio di rappresentazione del dato FPAR su un globo virtuale.

L'elaborazione dei dati

I dati digitali sono stati elaborati in ambiente GIS con l'utilizzo di algoritmi di *Map Algebra*. L'applicazione di tali algoritmi ha richiesto l'omogeneizzazione dei dati di *input* rappresentati dalla mappatura digitale dei parametri geoambientali prescelti. Ciò ha obbligato, operativamente, ad avere mappe dello stesso formato e delle stesse dimensioni, sia in termini di risoluzione che di dominio. Quindi, sono state effettuate operazioni di verifica, di conversione e di modifica delle dimensioni spaziali dei dati di *input*.

Per ciascun parametro geoambientale (X_i), cartografato in formato digitale *img format* dal 2000 al 2010, è stata calcolata la media aritmetica su base annua ($\overline{X}_i^{(anno)}$) delle N acquisizioni satellitari [1].

$$\overline{X}_i^{(anno)} = \frac{\sum_{x=1}^N X_i}{N} \quad [1]$$

Dopo questa operazione è stato necessario rendere omogenei i dati in quanto rappresentanti grandezze fisiche diverse e quindi non confrontabili. A tal fine tutti i dati sono stati normalizzati calcolando gli indici, su base annua, dei relativi parametri ($G_{index}^{(anno)}$) mediante la formula generale [2], i cui risultati assumono valori compresi tra 0 e 1.

$$G_{index}^{(anno)} = \frac{(X_i - X_{\min})}{(X_{\max} - X_{\min})} \quad [2]$$

Nell'applicazione della [2] sono stati considerati i parametri che favoriscono la desertificazione e quelli che invece la contrastano. Ad esempio, un'alta albedo è un indicatore di degrado del suolo, invece un alto valore di NDVI rappresenta una situazione di non degrado o con bassissimo degrado del suolo.

Per tale ragione la [2] assume forme specifiche a seconda del parametro considerato:

$$ALBEDO_{index}^{(anno)} = \frac{(ALBEDO_i - ALBEDO_{\min})}{(ALBEDO_{\max} - ALBEDO_{\min})} \quad [3]$$

$$LST_{index}^{(anno)} = \frac{(T_i - T_{\min})}{(T_{\max} - T_{\min})} \quad [4]$$

$$NDVI_{index}^{(anno)} = \frac{(-NDVI_i - NDVI_{\min})}{(NDVI_{\max} - NDVI_{\min})} \quad [5]$$

$$FPAR_{index}^{(anno)} = -\frac{(FPAR_i - FPAR_{\min})}{(FPAR_{\max} - FPAR_{\min})} \quad [6]$$

Albedo e LST sono parametri il cui elevato valore è indice di degrado del suolo o desertificazione, per cui anche i rispettivi indici calcolati avranno lo stesso significato. Invece, NDVI e FPAR sono parametri il cui elevato valore si contrappone al degrado del suolo, per questo nella [5] e nella [6] sono stati introdotti segni negativi (fig. 5).

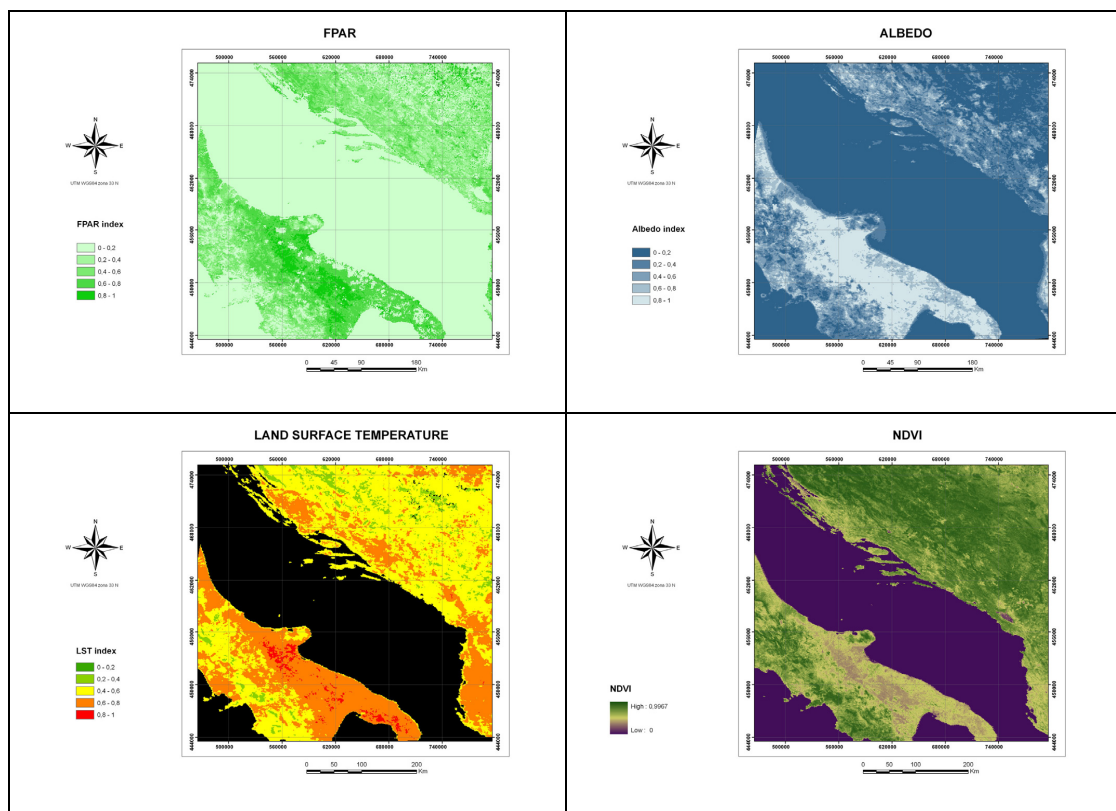


Figura 5 – Mappe degli indici normalizzati dei prescelti parametri geoambientali della desertificazione.

Infine, per il calcolo dell'Indice di desertificazione (DI), e la sua rappresentazione cartografica, è stata elaborata la formula generale [7]:

$$DI = \frac{\sum_{i=1}^N G_{index_i}}{N} \quad [7]$$

Tale formula, rappresentante una media aritmetica, è stata applicata, nel caso specifico in ambiente GIS, come *overlay* dei vari indici dei parametri prescelti (fig. 6). Il valore dell'Indice ottenuto in tal modo [8]

$$DI^{(anno)} = \frac{FPAR_{index}^{(anno)} + ALBEDO_{index}^{(anno)} + LST_{index}^{(anno)} + NDVI_{index}^{(anno)}}{4} \quad [8]$$

varia fra un minimo teorico di 0, in cui non si hanno fenomeni di degrado del suolo o desertificazione, e un massimo teorico di 1, in cui l'area è totalmente desertificata (fig. 6).

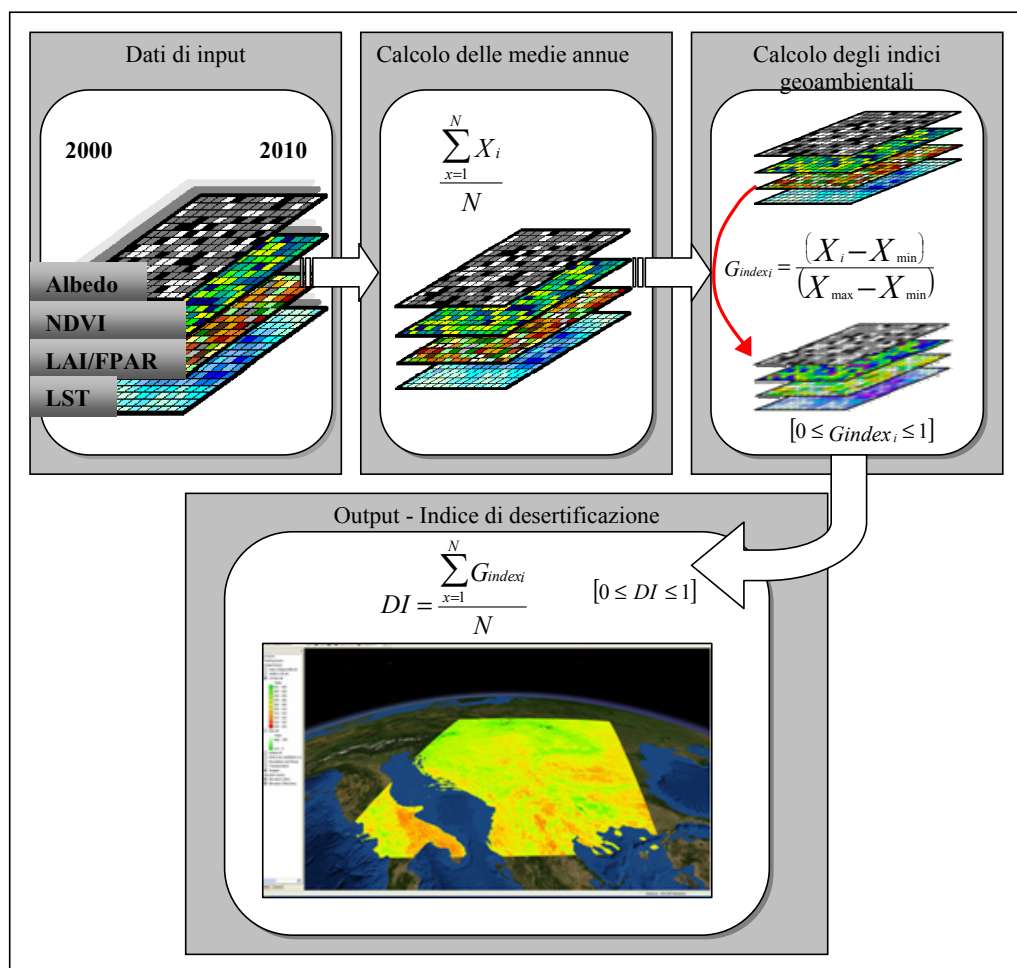


Figura 6 – Schema del processo di elaborazione per il calcolo e la rappresentazione dell'Indice di desertificazione (DI).

Discussione dei risultati e conclusioni

Con questo procedimento si è ottenuta la mappatura, per tutta l'area investigata coperta dai dati satellitari MODIS, dell'Indice di Desertificazione (DI) relativamente al periodo 2000-2010 (fig. 7). Tale rappresentazione costituisce un'ottima base di partenza per l'elaborazione ulteriore di dati all'interno di modelli ambientali per il monitoraggio della desertificazione.

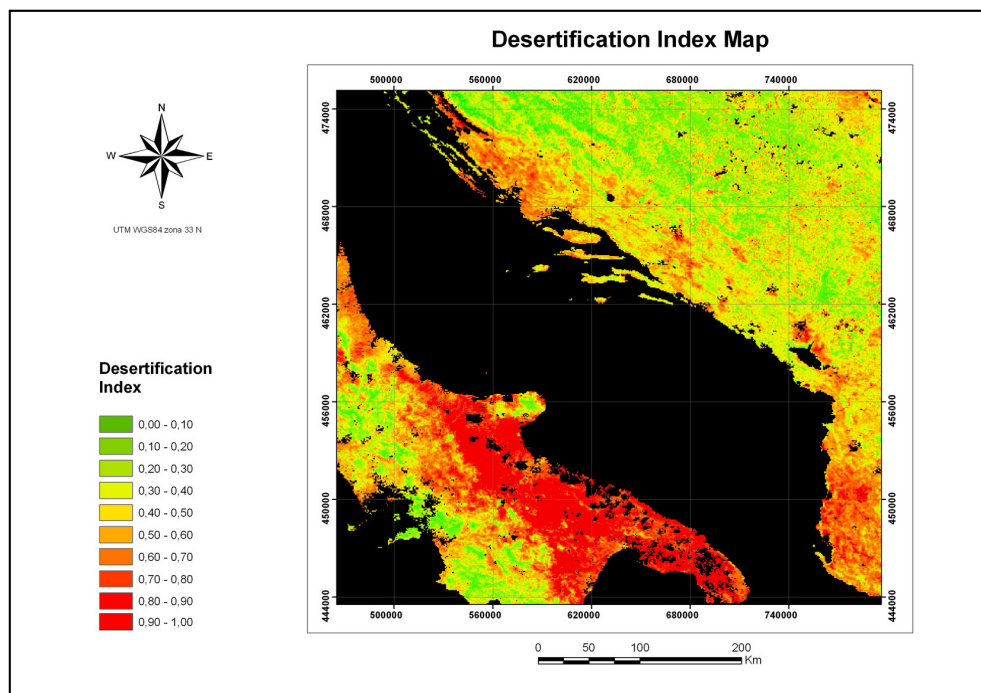


Figura 7 – Carta dell'Indice di Desertificazione.

In particolare, si osserva che la regione italiana rappresentata è caratterizzata essenzialmente da alti valori dell'Indice di desertificazione soprattutto sul versante adriatico e ionico (Puglia e Basilicata), mentre valori bassi e intermedi dello stesso sono più caratteristici del versante tirrenico. Eccetto il promontorio garganico, in cui l'altitudine potrebbe giocare un ruolo importante nell'abbattere i valori di desertificazione, come si vede la Puglia e parte della Basilicata rappresentano in questo senso eccezionali campioni di aree in desertificazione: un dato che merita di essere "attenzionato" dagli addetti ai lavori. Ciò risulta anche dal confronto effettuato con i dati provenienti da altri e simili studi condotti per le stesse finalità (Basso et al., 2000; Ferrara et al., 2005; Costantini et al., 2007; Ladisa et al., 2011). Le regioni balcanica e albanese (quest'ultima in condizioni di desertificazione più accentuate) mostrano nel complesso una diffusa distribuzione di bassi e intermedi valori dell'Indice di Desertificazione che assume, invece, valori più critici (alti e medio-alti), ma in maniera disomogenea, solo lungo la costa adriatica dove, forse, la presenza delle catene montuose costiere funge da barriera topografica ai flussi d'aria fresca e umida di provenienza orientale e nord-orientale.

Va considerato che le aree italiane, però, sono esposte oltre allo stress di natura climatica anche a quello dovuto alla pressione, spesso non sostenibile, delle attività umane sull'ambiente (Ladisa et al., 2011).

La metodologia utilizzata in questo articolo permette di ottenere come risultato la carta dell'indice di desertificazione basata interamente su dati satellitari. Il risultato ottenuto è stato confrontato con quelli di altre metodologie che utilizzano dati non satellitari o anche misti. Ciò conforta che il procedimento utilizzato in questo studio è altrettanto affidabile, ma più speditivo in quanto si basa sull'analisi e sull'elaborazione di solo 4 parametri geoambientali (*F_{PAR}*, Albedo, *LST* e *NDVI*) i quali, a nostro parere, influenzano fortemente il grado di desertificazione di un'area.

In conclusione, si possono ottenere con questa metodologia, non solo una rappresentazione areale dell'indice di desertificazione, ma anche il possibile monitoraggio di questo indice nel tempo. I

limiti di tale applicazione risiedono solo nella risoluzione geometrica del dato MODIS (pixel di 1 km), nella possibilità di coperture nuvolose che influenzano negativamente il dato e nella disponibilità della serie temporale della stessa piattaforma (dal 2000 in poi per MODIS).

Bibliografia

- Basso F., Bove E., Dumontet S., Ferrara A., Pisante M., Quaranta G., Taberner M. (2000), "Evaluating environmental sensitivity at the basin scale through the use of geographic information systems and remote sensed data: an example covering the Agri basin (Southern Italy)", Catena, 40: 19–35.
- Costantini E.A.C., Urbano F., Bonati G., Nino P., Fais A. (a cura di) (2007), *Atlante nazionale delle aree a rischio di desertificazione*, CRA-INEA, Roma, 1-108.
- Crag R., Sugita M., Brutsaert W. (1995), "Satellite-derived surface temperatures with boundary layer temperatures and geostrophic winds to estimate surface energy fluxes", *J. Geophys. Rev.*, 100: 25447-25451.
- Diak G. R., Whipple M. S. (1993), "Improvements to models and methods for evaluating the land-surface energy balance and effective roughness using radiosonde reports and satellite-measured skin temperature data", *Agricul. and Forest Meteorol.*, 63: 189-218.
- Enne G., Zucca C. (2000), "Desertification indicators for the European Mediterranean region. State of the art and possible methodological approaches". *ANPA*, Roma, 1 - 261.
- Eswaran H., Reich P. (1998), "*Desertification: A global assessment and risk to sustainability*". Proc. Of 16th Int. Congr. Soil Science, Montpellier (F), 1 – 7.
- Ferrara A., Bellotti A., Faretta S., Mancino G., Baffari P., D'Ottavio A., Trivigno V. (2005), "Carta delle aree sensibili alla desertificazione della regione Basilicata", *Forest@*, 2: 66-73.
- Kosmas C., Kirkby M., Geeson N. (1999), *The MEDALUS project. Mediterranean Desertification and land use. Manual on key indicators of Desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification*. EUR 18882, Bruxelles (B), 1 – 88.
- Kosmas C., Tsara M., Moustakas N., Kosma D., Yassoglou N. (2005), *Environmental Sensitive areas and Indicators of Desertification*. In: Kepner et al. (Eds.), "Desertification in the Mediterranean Region. A Security Issue", NATO Security through Science Series, Volume 3, Springer Publishers, Germany, 527 – 547.
- Ladisa G., Todorovic M., Trisorio Liuzzi G. (2011), "A GIS-based approach for desertification risk assessment in Apulia Region, SE Italy", In press on: *Physics and Chemistry of the Earth*.
- Liu A.X., Wang J., Liu Z.J., Wang C.Y., LV C.Y. (2005), "Remote sensing monitoring of desertification in China", *Proceedings of the SPIE*, 5983: 255-262.
- Löw A., Brovkin V., Raddatz T., Claussen M. (2008), "Land surface albedo products for land surface and climate modelling". *ESA GlobAlbedo User Consultation meeting* (http://due.esrin.esa.int/files/GlobAlbedo_Loew.pdf).
- Middleton N., Thomas D.S.G. (1992), *World Atlas of desertification*, Ed. Arnold E., London (UK), First edition, 1 - 69.
- Myneni R.B., Nemani R.R., Running S.W. (1997), "Estimation of global leaf area index and absorbed par using radiative transfer models", *IEEE T. Geosci. Remote*, 35: 1380 – 1393.
- Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W., Harlan J.C. (1974), *Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation*, NASA/GSFC, Type III, Final Report, Greenbelt, MD, USA, 1-371.
- SEDAC - Socioeconomics Data and Application Center (2009), "The causes of land degradation and desertification". Website: <http://sedac.ciesin.columbia.edu>.

Analisi da Remote Sensing di variazioni geomorfologiche dell'area di un invaso artificiale

Sergio Lo Curzio, Filippo Russo, Mariagraziana Caporaso

Dipartimento di Scienze per la Biologia, la Geologia e l'Ambiente, Università del Sannio
Via dei Mulini 59/A, 82100 Benevento, Tel. 0824-323659, Fax 0824-323623
e-mail locurzio@unisannio.it, filrusso@unisannio.it, grazianacaporaso@interfree.it.

Riassunto

In questo lavoro sono presentati i risultati dell'analisi da *Remote Sensing* di variazioni geomorfologiche rapide all'interno dell'invaso artificiale di San Giuliano (Matera, Basilicata), creato dallo sbarramento del Fiume Bradano.

A tal fine sono state utilizzate 19 immagini *Landsat* acquisite in un periodo di 20 anni (1984-2004). L'analisi è stata condotta utilizzando i dati satellitari, il Modello Digitale del Terreno (DTM) di dettaglio antecedente alla costruzione della diga e i dati relativi ai livelli d'acqua dell'invaso, espressi in metri sul livello del mare, per ciascuna data di acquisizione delle immagini *Landsat*. Il *dataset* è stato sottoposto ad una serie di tecniche di telerilevamento per l'analisi multitemporale (*Multy-data composite image change-detection*) e ad una successiva procedura di classificazione volta principalmente all'estrazione della superficie d'acqua dell'invaso per ciascun anno di acquisizione. I dati classificati sono stati estratti in formato vettoriale in modo da ottenere l'impronta della sola superficie d'acqua; di quest'ultima è stata analizzata la forma e calcolata l'estensione superficiale per mezzo di un *software* GIS. Nell'analisi successiva, il DTM è stato intersecato con piani ideali posti alle stesse quote delle superfici d'acqua relativamente a ciascuna immagine in modo da creare delle superfici simulate. Per ogni anno del periodo considerato sono state confrontate le superfici d'acqua estratte dalle immagini *Landsat* con le superfici simulate derivate dal DTM precedente allo sbarramento del Fiume Bradano.

I risultati del confronto, analizzati e interpretati, hanno messo in evidenza le variazioni geomorfologiche significative, che avvengono in tempi brevi, dovute alle fasi di sedimentazione/erosione in relazione ai diversi livelli d'acqua dell'invaso artificiale.

Abstract

Remote Sensing analysis of geomorphological changes of the artificial lake area. In this paper are showed the results of the Remote Sensing analysis connected to rapid geomorphological variations of the water surface of the San Giuliano Dam (Matera, Southern Italy) along the Bradano River. Such results are from the examination of 19 Landsat images relative to 1984-2004 period.

For this case-study have been utilized the following materials: Remote Sensing data from Landsat satellite, detailed Digital Terrain Model (DTM) previous the dam building and the 1984-2004 period dataset relative to measured lake-levels.

The Multy-data composite image change-detection technique with relative classification has been applied to the image dataset finalized to extract the water-lake surface data for each detected year. Such classified data were extracted as a vectorial format to get the shape of the water-lake surface only, which is analyzed and calculated by using a Geographical Information System (GIS) software. The DTM of the pre-dam topographic surface has been intersected with the water-lake surfaces for each year detected of Landsat images to creating a simulated water-lake surface. The water-lake surfaces extracted from Landsat images for each year of the 1984-2004 period have been compared

to ones simulated got by DTM of the topographic surface of the studied area previously Bradano River damming. The data coming out from that comparison have been analyzed and interpreted too. They significantly evidence rapid geomorphological variations of the several water-lake surfaces due to erosional/sedimentation phenomena mainly connected to the fluvial dynamic of the Bradano River tributary.

Introduzione

Le zone umide sono importanti habitat naturali che devono essere conservate (Williams, 1990). Esse sono importanti perché proteggono la fauna e la flora specifica e preservano la qualità dell'acqua oltre a servire come luoghi per la mitigazione delle piene o serbatoi di acqua per l'irrigazione.

Per la mappatura delle aree interessate da corpi idrici sono state spesso utilizzate immagini ottiche e radar a cui sono state applicate diverse tecniche di telerilevamento quali classificazione, interpretazione visiva e tecniche di *density slicing* con sensori multibanda, immagini multitemporali e multisensore (Frazier, Page, 2000; Muntati, 2000; Chopra et al., 2001; Toyra et al., 2001; Dechka et al., 2002; Parmuchi et al., 2002; Hung, Wu, 2005; Jain et al., 2005).

Tali tecniche permettono di identificare una superficie d'acqua (p.es. uno specchio d'acqua lacustre) e di determinare la sua estensione, anche a seguito di eventuali inondazioni, su vaste aree. Nell'utilizzo di queste tecniche ci sono però degli svantaggi evidenti come: errori di classificazione dei singoli *pixel*, *pixel* misti, torbidità, risposta combinata dei sedimenti in sospensione e del fondo, problemi di zone d'ombra.

Non è facile ottenere una mappatura accurata di tali superfici in quanto l'accuratezza è legata alla risoluzione spaziale del sensore utilizzato. Inoltre, quando si ricostruisce l'evoluzione morfologica di un invaso artificiale ci si basa soprattutto su modelli digitali del terreno derivati da tecniche di acquisizione non recenti e quindi meno accurate di quelle attuali, per cui, con questo tipo di dati, lo studio delle modificazioni geomorfologiche di un invaso artificiale può essere svolto solo se tali cambiamenti sono di ragionevole entità.

In questo lavoro sono stati utilizzati i dati *Landsat Thematic Mapper* e un Modello Digitale del Terreno (DTM) per rilevare le variazioni spazio-temporali e geomorfologiche della forma e della superficie di un lago di sbarramento artificiale (Diga di San Giuliano) lungo il Fiume Bradano nel periodo 1984-2004.

Area di studio

L'area del bacino idrografico sotteso dal Lago di San Giuliano oggetto del presente studio, estesa per 540 Km², ricade nel settore sud-occidentale della Provincia di Matera compresa tra i punti di coordinate: Latitudine 40°32'00" e 40°42'00", Longitudine 3°52'00" e 4°14'00" (fig. 1).

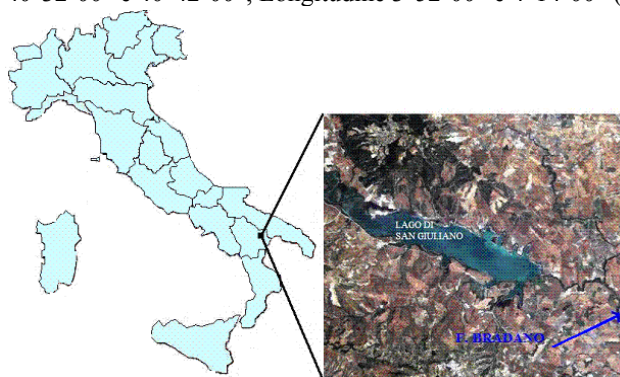


Figura 1 – Ubicazione dell'area di studi. Immagine Landsat a colori reali dell'area nel 1984.

Inoltre, essa è compresa tra le quote topografiche di 200 m e di 450 m s.l.m. ed è attraversata dal Fiume Bradano e dal Fiume Basentello.

Materiali e metodi

Nel presente lavoro sono state utilizzate 19 immagini satellitari *Landsat* acquisite, prevalentemente nella stagione estiva, nel periodo 1984-2004 (fig. 2).

N°	SATELLITE	SENSORE	DIMENSIONE PIXEL (m)	DATA DI ACQUISIZIONE
1	Landsat 5	TM	30 X 30	20 Giugno 1984
2	Landsat 5	TM	30 X 30	13 Agosto 1986
3	Landsat 5	TM	30 X 30	12 Aprile 1988
4	Landsat 5	TM	30 X 30	2 Agosto 1988
5	Landsat 5	TM	30 X 30	9 Gennaio 1989
6	Landsat 5	TM	30 X 30	5 Agosto 1989
7	Landsat 5	TM	30 X 30	28 Luglio 1992
8	Landsat 5	TM	30 X 30	31 Luglio 1993
9	Landsat 5	TM	30 X 30	18 Luglio 1994
10	Landsat 5	TM	30 X 30	19 Giugno 1995
11	Landsat 5	TM	30 X 30	7 Luglio 1996
12	Landsat 5	TM	30 X 30	10 Luglio 1997
13	Landsat 5	TM	30 X 30	13 Luglio 1998
14	Landsat 7	ETM +	30 X 30	26 Settembre 1999
15	Landsat 5	TM	30 X 30	7 Dicembre 1999
16	Landsat 7	ETM +	30 X 30	21 Aprile 2000
17	Landsat 7	ETM +	30 X 30	13 Luglio 2001
18	Landsat 7	ETM +	30 X 30	14 Giugno 2002
19	Landsat 5	TM	30 X 30	30 Agosto 2004

Figura 2 – Caratteristiche delle immagini satellitari utilizzate.

Dati ancillari e *software* diversi di gestione ed elaborazione dati sono stati utilizzati in questo studio. In particolare, il *software* ENVI 4.0 è stato utilizzato per le elaborazioni dei dati satellitari. Il *software* GIS (ArcMap 9.2 ed opportune estensioni) è stato utilizzato per l'analisi spaziale dei dati. I dati topografici sono stati desunti dalla Carta Topografica d'Italia dell'Istituto Geografico Militare (Foglio n. 201 "Matera"). Il Modello Digitale del Terreno (DTM) è stato ottenuto digitalizzando in ambiente GIS le carte topografiche di dettaglio (scala 1:5.000) dell'area di studio e i punti rilevati dalle battute topografiche effettuate in occasione della costruzione della diga.

Per ottenere una coerenza dimensionale tale da rendere le immagini sovrapponibili è stato operato un ritaglio di tutte le immagini telerilevate oggetto di studio. Tale ritaglio è stato effettuato con una matrice di valore 933 x 642 *pixel* il cui sistema di riferimento e coordinate ai vertici opposti sono:

- vertice in alto a sinistra: E 611713; N 4507495
- vertice in basso a destra: E 639673; N 4488265
- proiezione UTM, zona 33N, datum WGS-84.

L'interpretazione e l'identificazione degli oggetti nelle immagini risultanti è stata condotta a schermo, manualmente e visivamente, consultando tutti i dati ancillari a disposizione. L'analisi

interpretativa è stata condotta sia attraverso l'osservazione in singola banda che attraverso immagini composite RGB a colori reali e a falsi colori.

Per l'estrazione dei poligoni relativi alle superfici lacustri, le immagini sono state classificate con il metodo *supervised* algoritmo *Maximum Likelihood*. Tali immagini sono state dapprima convertite in formato vettoriale all'interno del *software* ENVI 4.0 e poi importate all'interno del *software* ArcMap in formato *shape file*. Una volta estratte le superfici lacustri da ogni immagine del *dataset*, tutti i perimetri bagnati sono stati visualizzati simultaneamente all'interno del GIS.

Tenuto conto che la risoluzione geometrica delle immagini *Landsat* utilizzate è di 30 m per pixel, in relazione a questo limite sono state prese in considerazione solo quelle immagini, relative agli anni di acquisizione 1984, 1988, 1989, 1993, 1994 e 1995 (fig. 3), in cui le variazioni plano-altimetriche del livello del lago (fig. 4) si sono rivelate di entità superiore al limite di risoluzione delle immagini.

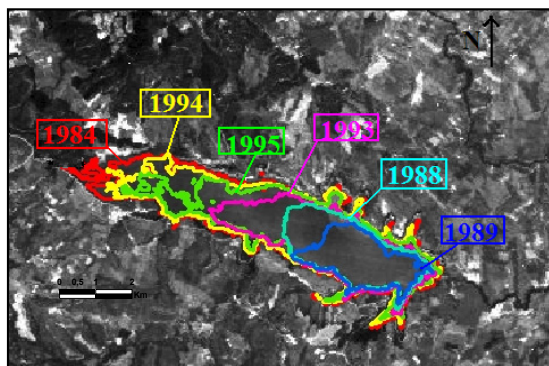


Figura 3 – Variazioni del perimetro bagnato dell'area lacustre nel periodo 1984-1995.

DATA ACQUISIZIONE LANDSAT	QUOTA LIVELLO DEL LAGO (metri s.l.m.)	VOLUME INVASATO (mc)
20/06/1984	99,32	64.213.480
02/08/1988	93,07	20.590.314
09/01/1989	88,65	1.087.887
31/07/1993	91,53	14.030.487
18/07/1994	97,75	50.689.706
19/06/1995	95,07	31.243.094

Figura 4 – Quota e volume invasato del lago nel periodo 1984-1995.

Infine, si è proceduto al confronto tra la forma delle superfici bagnate desunte dalle analisi delle immagini digitali e quelle delle superfici simulate aventi uguale quota. Tale confronto è stato effettuato per distinguere le variazioni della linea di riva dovute al semplice abbassamento/innalzamento del livello del lago da quelle connesse alle modificazioni geomorfologiche della forma del lago causate da fenomeni di erosione o progradazione degli apparati di foce degli immissari del lago (Fiume Bradano e altri immissari minori).

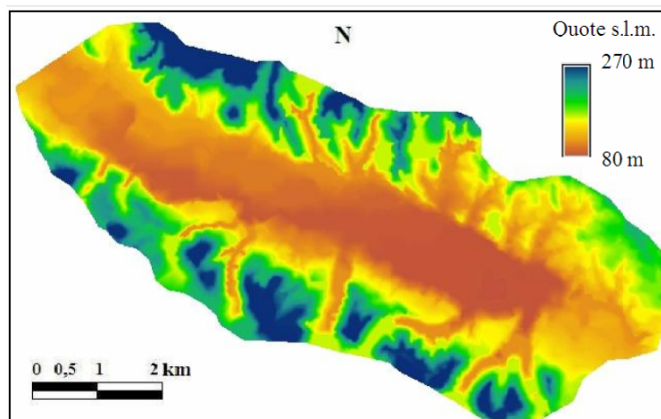


Figura 5 – Modello Digitale del Terreno dell'area lacustre precedente la costruzione della diga.

Le simulazioni delle superfici occupate dall'acqua nei vari anni analizzati sono state ottenute utilizzando l'estensione 3D *Analyst* di ArcGIS 9.2. Ciò ha permesso di creare dei piani virtuali di intersezione con il DTM (fig. 5) posizionati alla quota assunta dai reali livelli lacustri in ogni immagine. In effetti, si è proceduto visivamente nel modo seguente: assunta una quota reale di un dato livello lacustre sul DTM viene visualizzato con colore nero la superficie lacustre simulata ovvero la superficie che avrebbe occupato l'acqua in assenza di modificazioni topografiche. Tale operazione è stata eseguita per tutte le immagini col risultato di ottenere una serie di rappresentazioni (fig. 6) dell'area in cui appaiono colorate in nero le aree di invaso corrispondenti alle superfici simulate relativamente a ciascun anno e a ciascuna quota di riferimento.

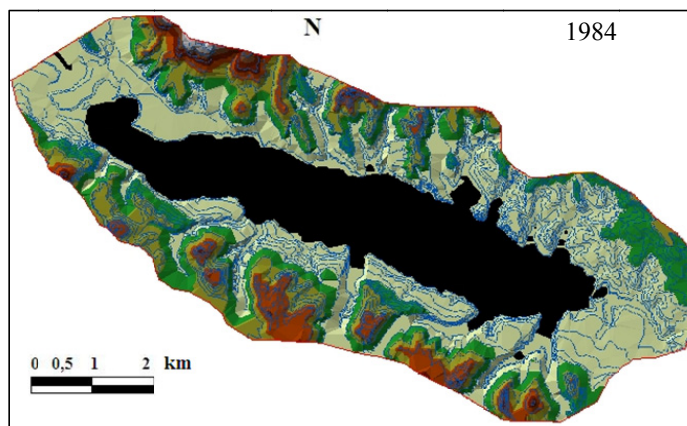


Figura 6 – Esempio di superficie simulata (in nero) di invaso relativa all'anno di acquisizione 1984 e corrispondente alla superficie di massimo invaso.

Risultati

Nella figura 7 si osservano le variazioni plano-altimetriche del perimetro lacustre (linea rossa) desunte dalle immagini *Landsat* nei vari anni considerati (1984, 1988, 1989, 1993, 1994 e 1995). L'andamento delle diverse linee perimetrali descrive forme diverse assunte dalla superficie dell'invaso a diverse altezze topografiche.

Le superfici in nero nella stessa figura simulano una superficie lacustre virtuale ad una determinata altezza topografica.

Dal confronto visivo e dalla sovrapposizione geometrica (*overlay*) tra le due superfici lacustri (superfici delimitate dalla linea rossa e superfici in colore nero) risultano evidenti le maggiori modificazioni dell'area di invaso del bacino di San Giuliano occorse negli anni considerati.

Questo risultato permette di distinguere con chiarezza le modificazioni plano-altimetriche del livello lacustre dovute al normale funzionamento della diga (svuotamenti e riempimenti dell'invaso) da quelle di tipo geomorfologico connesse alla dinamica sedimentaria dei principali immissari dell'invaso (Fiume Bradano e Torrente Acquaviva). Queste ultime sono testimoniate dalle osservazioni geomorfologiche condotte nell'area relativamente agli apparati progredazionali di foce e ai fenomeni di erosione caratterizzanti i versanti aggettanti sull'area lacustre.

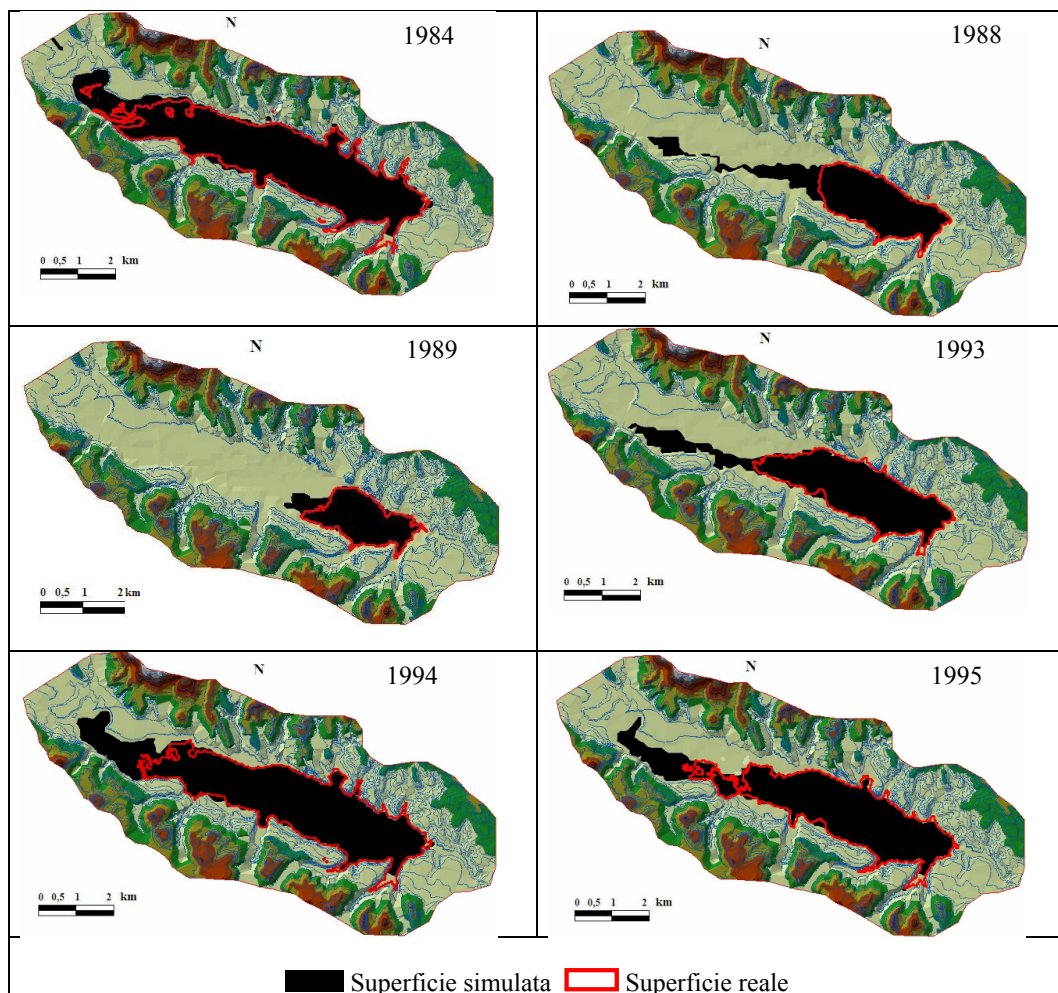


Figura 7 – Immagini dell'invaso lacustre ottenute dal confronto tra le superfici simulate (in nero) e quelle reali (in rosso) relative a diversi anni di acquisizione.

Inoltre, nell'immagine relativa all'anno 1989 (fig. 7) è illustrata la situazione morfo-topografica dell'area lacustre in cui il livello dell'area di invaso raggiunge la quota minima di 86,65 m: si tratta

del massimo restringimento o riduzione del perimetro bagnato riscontrato nella serie di dati esaminati. In confronto, l'immagine del 1984 riporta il medesimo perimetro relativo, invece, alla quota di 99,32 m relativa alla massima superficie invasata. Le situazioni morfo-topografiche intermedie mostrano l'evoluzione in senso geomorfologico della dinamica evolutiva dell'area lacustre.

Conclusioni

In questo studio sono state utilizzate tecniche di telerilevamento e tecnologie GIS per analizzare le modificazioni geomorfologiche rapide avvenute in un invaso artificiale (lago di sbarramento per diga): il lago di San Giuliano sul Fiume Bradano in Basilicata.

L'esame dei dati ha messo in evidenza una variazione dell'assetto fisiografico dell'area lacustre, consistente in una sostanziale modificazione della superficie e del perimetro del lago.

Queste variazioni sono evidenti nell'area foce degli immissari principali del lago, specialmente del Fiume Bradano. I dati telerilevati ed elaborati sono stati confrontati con simulazioni basate sulla ricostruzione dell'area dell'invaso ottenuta mediante analisi del DTM. Dai confronti effettuati emerge che l'area lacustre ha conosciuto una dinamica evolutiva con variazioni plano-altimetriche della superficie lacustre. Tali variazioni sono soprattutto evidenti negli anni 1984, 1988, 1889, 1993, 1994 e 1995. Da osservazioni effettuate sul campo si conferma che tali variazioni sono connesse a fenomeni di erosione/sedimentazione legati alla dinamica sedimentaria dei principali immissari dell'invaso (Fiume Bradano e Torrente Acquaviva) e dei versanti aggettanti sull'area lacustre.

Infine, con questo studio si evidenzia che le variazioni riscontrate possono influenzare negativamente i volumi idrici invasati con possibili ripercussioni sulla funzionalità dell'invaso in termini di rischio e pericolosità.

Bibliografia

- Chopra R., Verma V.K. and Sharma P.K. (2001), "Mapping, monitoring and conservation of Harike wetland ecosystem, Punjab, India, through remote sensing", *International Journal of Remote Sensing*, 22: 89–98.
- Dechka J.A., Franklin S.E., Watmough M.D., Bennett R.P. and Ingstrup D.W. (2002), "Classification of wetland habitat and vegetation communities using multitemporal IKONOS imagery in southern Saskatchewan". *Canadian Journal of Remote Sensing*, 28: 679–685.
- Frazier P.S. and Page K.J. (2000), "Water body detection and delineation with Landsat TM data", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66: 1461–1467.
- Hung M.C. and Wu Y.H. (2005), "Mapping and visualizing the Great Salt Lake landscape dynamics using multi-temporal satellite images, 1972–1996", *International Journal of Remote Sensing*, 26: 1815–1834.
- Jain S.K., Singh R.D., Jain M.K. and Lohani A.K. (2005), "Delineation of flood-prone areas using remote sensing techniques", *Water Resources Management*, 19: 333–347.
- Munyati C. (2000), "Wetland change detection on the Kafue Flats, Zambia, by classification of a multitemporal remote sensing image dataset", *International Journal of Remote Sensing*, 21: 1787–1806.
- Parmuchi M.G., Karszenbaun H. and Kandus P. (2002), "Mapping wetlands using multitemporal RADARSAT-1 data and a decision-based classifier", *Canadian Journal of Remote Sensing*, 28: 175–186.
- Toyra J., Pietroniro A. and Martz L.W. (2001), "Multisensor hydrologic assessment of a freshwater wetland", *Remote Sensing of Environment*, 75: 162–173.
- Williams M. (1990), *Protection and retrospection. In Wetlands: A threatened landscape*, Ed. M. Williams, Oxford-Blackwell, 325–353.

Verifica degli impatti socioeconomici ed ambientali conseguenza dei mutamenti climatici in atto nel bacino del Mediterraneo, attraverso l'uso del telerilevamento satellitare

F. Luciani, M. Pierantozzi, S. Zamberlan

Dipartimento di Economia, Finanza e Statistica, Università degli Studi di Perugia
Via Pascoli n.20, 06125 Perugia, Tel. 075/5855246, Fax 075/5855299, @mail faluc@iol.it

Riassunto

Oggi l'uomo è pericolosamente prossimo ad un punto di non ritorno, in cui può decidere di cambiare rotta od accettare di vedere avverarsi ciò che più temeva l'economista statunitense Premio Nobel Paul Robin Krugman¹, il quale sosteneva che le future generazioni non avrebbero più potuto contare, come avevano sempre fatto le precedenti, su di un tenore di vita migliore rispetto a quello di padri e nonni. Questo potrebbe avvenire perché è stato ormai sollevato il problema dell'assoluta carenza di risorse naturali, questione che per lungo tempo è stata risolta dai paesi più industrializzati con l'esclusione della maggioranza della popolazione mondiale dai consumi di massa propri dell'Occidente. Ma la problematica riguardante questa scarsità segue, ogni giorno di più, quella altrettanto drammatica che investe il clima e per la comunità scientifica è ormai ovvio che entrambi sono due facce di una stessa medaglia. Sempre più spesso, dunque, siamo chiamati a confrontarci non solo con la miseria, in preoccupante aumento in ogni Paese dopo la crisi economica globale iniziata nel 2008 e non ancora conclusasi, ma, anche, con tematiche come calamità naturali, eventi estremi, squilibri ecologici, avvenimenti pure essi in apparenza, decisa crescita. Privazioni e mutamenti climatici hanno un costo economico e sociale altissimo e l'unico metodo per risolvere queste difficoltà parrebbe quello di ricondurre la dottrina al significato primigenio della parola economia, "oikos nomos", che circa 2700 anni fa significava gestione della casa comune, ovvero la Terra, pianeta in cui viviamo. In questo contesto è da inquadrare il programma di studio interministeriale che ha per titolo "Modello integrato per l'evoluzione degli ecosistemi naturali ed agricoli in relazione ai cambiamenti climatici nell'area mediterranea (FISR-MICENA)"; il lavoro che qui si presenta è parte integrante dell'attività di ricerca n.19 di questo progetto.

Abstract

The environmental question is to be considered with the same spirit with which we face our problems at home. Indeed the etymological basis of the term ecology is the Greek "oikos logos", which means discourse concerning the household. The key concepts are now: shared responsibility, the prediction and prevention of environmental damage, and conciliation between employment and environmental measures. Taking into consideration the increased sensitivity to the problems outlined, there have been numerous international initiatives, all aimed at the quality of life and the management and development of cultural and environmental resources. And it is precisely in this context that we find the study which has as its title "Verification/Analysis of socio-economic and environmental impacts resulting from changes in climate in the Mediterranean basin through the use of satellite remote sensing". It is included in a program of study that has for title "Integrated Model for the evolution of natural and agricultural ecosystems in relation to climate change in the Mediterranean Area (FISR-MICENA)" and also by the relations between the two variables previous and the urban systems incorporated in geographic area.

Il National Oceanic Atmospheric Administration (NOAA)

Il NOAA è un organismo scientifico degli Stati Uniti annesso al Dipartimento del Commercio e studia le condizioni degli oceani e l'atmosfera. Questa istituzione ha tra i suoi maggiori compiti quelli di: avvertire dei pericoli meteo, dei mari e dei cieli; guidare l'utilizzo e la protezione delle risorse oceaniche e costiere nazionali e svolgere attività di ricerca per migliorare la comprensione e la gestione dell'ambiente. Lo svolgimento di diversi ruoli specifici porta benefici che si estendono al di là degli Stati Uniti, nell'economia globale. In particolare, NOAA fornisce informazioni ai suoi partner sullo stato degli oceani e dell'atmosfera, fornendo previsioni meteorologiche, sul clima e sugli ecosistemi. NOAA opera principalmente attraverso i seguenti organismi tecnici, oltre a diverse sottounità di programma: il National Weather Service (NWS) è incaricata di fornire previsioni meteorologiche, idrologiche, climatiche riguardanti gli Stati Uniti, i suoi territori, le acque adiacenti, per la tutela della vita e della proprietà ed il rafforzamento dell'economia nazionale; il National Ocean Service, ha il compito di verificare che il mare e le zone costiere siano sicuri, sani e produttivi, garantendo la sicurezza e l'efficienza del trasporto marittimo, la promozione di soluzioni innovative per proteggere le comunità costiere e la conservazione marina e costiera; il National Marine Fisheries Service è il servizio nazionale per la pesca marittima, discendente diretto della Commissione degli Stati Uniti per i prodotti ittici e la pesca, che iniziò i suoi lavori nel 1871; il National Environmental Satellite, gestisce molti satelliti artificiali in orbita polare e geosincrona ed è stato creato da NOAA col fine principale di operare nei programmi ambientali. I dati raccolti dal NWS, US Navy, US Air Force, la Federal Aviation Administration, e dai servizi meteorologici in tutto il mondo, sono ospitati presso il National Climatic Data Center in Asheville, North Carolina. Questi dati sono anche utilizzati a livello internazionale da scienziati ambientali, fra i quali vi sono anche i componenti del nostro gruppo di ricerca DIEC1 per il progetto FISIR-MICENA.

Mutamenti climatici in area mediterranea; il contributo del NOAA

Al fine di fornire un contributo scientifico ed operativo in questo campo, i Ministeri delle Finanze, Istruzione, Università e Ricerca, Ambiente e Tutela del Territorio, Politiche Agricole e Forestali hanno finanziato, a partire dal 2006, un fondo integrativo speciale di ricerca avente per tema un "Modello integrato per l'evoluzione degli ecosistemi naturali ed agricoli in relazione ai cambiamenti climatici nell'area mediterranea", F.I.S.R.-M.I.C.E.N.A.. Compito del F.I.S.R.-M.I.C.E.N.A. è quello di fornire anche indicazioni preposte a definire gli indirizzi di programmazione e gestione degli interventi in ambito agro-ambientale a livello locale; gli studiosi non hanno però trascurato di comparare i risultati ottenuti con quelli di studi di portata mondiale. Per le linee di ricerca 2 e 3 (Mutamenti climatici ed evoluzione dei sistemi naturali nell'area mediterranea; Mutamenti climatici ed evoluzione dei sistemi agricoli nell'area mediterranea) si è approfondita la specifica area di indagine denominata "remote sensing" ed avente per oggetto l' "Acquisizione, elaborazione, interpretazione e catalogazione di immagini satellitari dell'Italia, della serie NOAA-AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer). Dettaglio tecnico: scansione di n.1 immagine giornaliera tra le h. 11.30 a.m. e le h. 3.30 p.m., pancromatica, con griglia, sensore al visibile, altrimenti sostituito dall'infrarosso o termico, dal 1° gennaio 1983 al 31 dicembre 2008 e con analisi del trend stagionale riguardante la copertura nuvolosa per inserimento in GIS".

I risultati del monitoraggio

L'elaborazione dei dati ottenuti dalla lettura ed interpretazione delle immagini, eseguita anche in automatico, è durata 9 mesi ed ha portato a dei risultati, per ora assolutamente parziali ed interlocutori, che sono di seguito riportati. Le immagini, acquisite per gentile concessione del Natural Environment Research Council britannico, coprono il periodo 1° gennaio 1983, 31 dicembre 2008 e possono essere adoperate esclusivamente per i dichiarati fini scientifici di questa ricerca. Le foto archiviate sono in numero di 9.125, ma quelle complessivamente visionate risultano infine il doppio. Esse si presentano pancromatiche, a media risoluzione, accompagnate da griglia con latitudine e longitudine e, con l'ausilio di un buon photoshop, possono essere ingrandite fino al

200% senza perdita di dettaglio. La morfologia ricercata è sempre quella dell'Italia (continentale e peninsulare) tra le h. 12 e le h. 15, con possibile proiezione anche dell'intero bacino del Mediterraneo, al visibile, oppure, in alternativa, all'infrarosso o al vapor acqueo. Nello specifico sono state esaminate alcune aree tra le quali il Salento, la Sicilia sud-orientale e la Sardegna nord occidentale, ovvero quelle ritenute a maggior rischio di inaridimento e di progressiva desertificazione, classificate quindi come aree sensibili ai fini agricoli ed ambientali. Dai dati meteo climatici al suolo in nostro possesso riguardanti le prime due regioni fisiche, nel periodo considerato di 25 anni, si rilevano variazioni medie apprezzabili riguardanti una diminuzione complessiva di precipitazioni (-12%). Questo dato è suffragato dall'analisi delle immagini satellitari che indicano una diminuzione media dello spessore delle nubi (-16%), così come della copertura nuvolosa media (-24%). Si conferma il trend nazionale riguardante la diminuzione delle circolazioni depressionarie atlantiche, seppur con una variazione maggiore (-14% rispetto a -13%), ed, al contempo, dato questo assolutamente di primo piano ed interessante appunto il Salento e la Sicilia nord orientale, il presentarsi, svilupparsi e permanere, anche per più settimane nel semestre invernale, di depressioni di origine balcanica (+16% nel venticinquennio) di tipo retrogrado, ossia con un movimento per paralleli ma da est verso ovest. La temperatura media interna delle nubi risulta in aumento (+8%); anche in questo caso i valori indicati, come i precedenti, vedono scostamenti sostanziali dalla media nazionale di riferimento probabilmente a causa dei vortici depressionari balcanici di cui si è fatto cenno. La Sardegna nord occidentale vede invece dati in crescita rispetto alla media nazionale: spessore medio delle nubi (-19%); temperatura media interna (+16%). Come già evidenziato in altri precedenti lavori scientifici, "...quanto espresso al momento, potrebbe rientrare in quelle oscillazioni che caratterizzano un trend normale di più lungo periodo (100/150 anni), del quale, però, non abbiamo ovviamente immagini e, dunque, ci è negata qualunque possibilità di paragone; oppure, al contrario, potrebbe anche essere il primo, preoccupante sintomo di un veloce e radicale cambio climatico dagli effetti per ora imprevedibili"ⁱⁱ. Indubbiamente, l'agricoltura risente in maniera importante dei cambiamenti meteorologici che noi osserviamo. Ma variazioni del tempo atmosferico di breve/medio periodo non sono al momento correlabili ad un eventuale cambiamento climatico. Sono importanti indizi, ma per ora tali rimangono; di questo dobbiamo essere coscienti.

Sfruttamento delle risorse, cambiamento climatico e salute umana

Attualmente la realtà che conosciamo è in forte crisi: non solo finanziaria ed economica, ma anche sociale e, non meno importante, ecologica. Per quanto riguarda la crisi ecologica, sulla quale ora vogliamo soffermarci, basti pensare che le modifiche causate all'ambiente dall'approccio produttivo e consumistico – in particolare quello degli ultimi decenni – ha determinato una modificazione della composizione chimica dell'atmosfera e, di conseguenza, un probabile cambiamento climatico di origine antropica; un'accelerazione del processo di desertificazione che colpisce già 1/4 del pianeta, con la perdita di foreste e di territori fertili; un impoverimento delle risorse idriche potabili; la scomparsa di centinaia di specie animali e vegetali con tutta la loro ricchezza genetica. Al momento, lo sfruttamento delle risorse ambientali avviene in modo miope, non concentrato sul soddisfare i bisogni della specie umana, se non in minima parte, ma sull'alimentare un consumismo in grado di mantenere vivo un sistema produttivo inefficiente ed inefficace, come dimostrato dal paradosso della felicità di Easterlin ⁱⁱⁱ. Il sistema finanziario appare ormai come non più teso a migliorare le performance del sistema economico, così come il sistema economico non è più improntato al miglioramento delle condizioni di vita dell'uomo di ogni condizione e razza. È l'uomo che con il proprio lavoro – sempre meno pagato e tutelato – e con i propri consumi – sempre più lontani dai bisogni effettivi e basilari – sta sostenendo artificialmente una finanza ed un'economia distoniche rispetto all'ambiente e strutturalmente sempre più deboli, come l'attuale grave crisi mondiale dimostra. Il prelievo di risorse e l'immissione di inquinanti ha superato la capacità di carico del sistema ambiente, il quale si sta progressivamente e irrimediabilmente deteriorando^{iv}. Secondo Georgescu-Roegen, fondatore della bioeconomia, la peculiare evoluzione

umana – definita esosomatica perché legata a strumenti esterni al corpo – ha causato due ordini di problemi: sociali, per il possesso delle risorse, ed ambientali, perché si basa soprattutto su materie ed energie fossili presenti in stock nel pianeta e non legate all'energia solare. Per questo i problemi dell'uomo – afferma Georgescu-Roegen nel suo *Energy and Economic Myths* – non sono solo biologici o economici, ma bioeconomici^v. Di conseguenza, l'economia deve rispondere alla legge dell'entropia, in base alla quale materia ed energia dopo il loro utilizzo si degradano in forme non più utilizzabili dall'uomo. Nel 2010 la Commissione dell'Unione Europea metteva in guardia sul fatto che già ora 14 materie prime economicamente importanti, soprattutto per la tecnologia, sono a rischio esaurimento^{vi}. A questo punto, sorge ovvia una domanda: cosa accadrebbe se all'attuale dissesto economico-finanziario si affiancasse uno scompenso ecologico planetario, quale ne sia la causa? La risposta è lasciata all'intelligenza di chi ci legge. Gli effetti sulla specie umana di questa condotta irresponsabile sono comunque già visibili, anche se non ancora percepiti in tutta la loro gravità: distruzione, a volte irreversibile, di biodiversità e di risorse naturali finite o rigenerabili, crescente sperequazione nell'uso delle risorse al momento disponibili, considerevoli flussi migratori, aumento delle morti a causa di malattie e catastrofi “naturali” legate all'inquinamento ed al cambiamento climatico. Infatti, questo è un aspetto non secondario del problema, poiché, secondo il rapporto *Climate Change and Human Health. Risks and Responses* – elaborato dalla WHO-World Health Organization, l'UNEP-United Nations Environment Program ed il WMO-World Meteorological Organization^{vii}, nella sola Europa ogni anno più di 350.000 persone muoiono prematuramente a causa dell'inquinamento; in Italia, la percentuale oscilla tra il 15 ed il 20% delle morti annue. I fattori di rischio considerati nello studio sono: l'inquinamento atmosferico, la sicurezza delle acque, il livello di igiene, l'inquinamento domestico dovuto all'utilizzo di combustibili usati per cucinare, le condizioni ambientali legate alle professioni, le radiazioni di raggi ultravioletti, il cambiamento climatico dell'ecosistema e i comportamenti umani. Entrando nel dettaglio, l'Italia è uno degli Stati con il maggior numero di morti annue legate all'inquinamento ambientale e tra queste sono da evidenziare quelle causate da polveri sottili, ben 8400.

Il cambiamento climatico: uno scenario inquietante

Un problema diffuso è quello di percepire il surriscaldamento globale come un semplice aumentare delle temperature medie. In realtà, ciò significa spingere il mondo verso la desolazione. Se non si riesce a ridurre il livello di emissioni in atmosfera l'INGV-Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, prevede che entro la fine di questo secolo potrebbe esservi un aumento della temperatura di circa 3,5-4° C rispetto ai primi anni del secolo scorso^{viii}. Se ciò dovesse accadere, il mondo come noi lo conosciamo potrebbe non esistere più. Questo rischio è ben descritto dal giornalista scientifico britannico Mark Lynas nel suo libro “*Six degrees: our future on a hotter planet*”^{xi}. Secondo Lynas, posto che sembra ormai inarrestabile l'aumento della temperatura fino al raggiungimento di oltre 1 grado in più rispetto ai primi del Novecento, se non vi si comincerà a porre un freno in modo da non avvicinarsi all'aumento di 2 gradi, si scivolerà velocemente a più 3 gradi a causa dell'innescarsi del meccanismo di scioglimento dei terreni ghiacciati (*permafrost*). Così, la maggior parte delle città costiere si ritroverebbero sommerse. Gli sforzi economici e politici per bloccare il processo di riscaldamento da più 3 a più 4 gradi sarebbe una corsa immane contro il tempo. Giunti a più 4 gradi lo scenario si farebbe apocalittico. Il ghiaccio nei due poli sarebbe scomparso quasi completamente ed il riscaldamento, oramai incontrollabile, giungerebbe a più 5 gradi. L'aumento della temperatura renderebbe instabile il metano dei sottofondi oceanici che, fuoriuscendo, accelererebbe ulteriormente il riscaldamento globale. I profughi, in fuga dalla siccità e dalle inondazioni costiere, sarebbero milioni e migrerebbero alla ricerca di cibo. Le estati diventerebbero sempre più lunghe e trasformerebbero così le città, con il loro cemento e asfalto, in ambienti invivibili. Raggiunti i 5 gradi anche se vi fosse una drastica riduzione delle immissioni in atmosfera da parte degli esseri umani – dovuta al collasso del sistema produttivo e della mobilità – l'aumento di temperatura sarebbe comunque inarrestabile per i processi climatici messi in moto. Ad un aumento di 6 gradi la vita dell'uomo sulla Terra, tra tempeste, inondazioni, gas sulfurei e

metano, sarebbe scomparsa o ridotta a poche comunità in ambienti protetti. Per quanto questo scenario appaia assolutamente apocalittico bisogna notare un certo parallelismo tra il rapporto IPCC, presentato nel 2007, nel quale si ipotizza la corrispondenza tra concentrazione di CO₂ nell'atmosfera ed aumento della temperatura, e quanto scritto da Lynas nel suo volume.

Calamità naturali e cambiamento climatico

Il cambiamento climatico è la causa o un elemento fortemente aggravante, di quei disastri che così tanto spazio occupano nell'informazione data dai mass media: ondate di calore, siccità, alluvioni, inondazioni, tornado ed altro ancora, con gravi conseguenze in termini di vite umane e costi finanziari. Secondo l'EM-DAT, l'International Disaster Database, solo nel 2010 in Europa si sono verificate circa 70 di queste calamità naturali, colpendo quasi 800.000 persone e causando danni economici per più di 255 miliardi di dollari. Se poi risaliamo indietro nel tempo, a partire dal 1990 le cifre sono preoccupanti: da allora, in Europa si sono verificate quasi mille calamità naturali – causate o intensificate dal cambiamento climatico e dall'incapacità di adeguarsi ad esso – che hanno colpito circa 30 milioni di persone, provocando 140.000 morti e danni economici per quasi 5 milioni di miliardi di dollari. Queste risultano indubbiamente cifre importanti, soprattutto se si tiene conto che sono conseguenza di un inquinamento legato a produzioni che danno reddito a vantaggio prevalente di un ristretto numero di persone, mentre i danni vanno a colpire pesantemente soprattutto coloro che proporzionalmente guadagnano meno dalla produzione economica medesima. Tuttavia, non viene mai sostenuto esplicitamente dai mass media che queste calamità e questo cambiamento climatico sono dovuti all'attuale uso economico delle risorse ambientali.

Cambiamento climatico ed agricoltura

Abbiamo visto che secondo il IV Rapporto di Valutazione dell'IPCC, i cambiamenti climatici a cui stiamo assistendo negli ultimi 150 anni sono causati principalmente dalle attività umane. Una delle attività umane più peculiari in questo contesto è il settore agricolo, in quanto tra esso ed i cambiamenti climatici esiste una relazione complessa di causa-effetto, infatti: - l'agricoltura, per mezzo dello svolgimento dell'attività stessa, produce rilevanti volumi di gas ad effetto serra, principale causa del cambiamento climatico; - al tempo stesso però, ne subisce gli impatti negativi, in termini di riduzione della produttività e d'incremento dei rischi legati alla sicurezza alimentare e, di conseguenza, alla sicurezza sociale. La problematica dell'impatto del cambiamento climatico nel settore agricolo si inserisce in un contesto in cui persiste il problema di aumentare la produzione agricola globale per far fronte all'incremento demografico previsto e di garantire al contempo la sicurezza alimentare ed i mezzi di sussistenza delle zone rurali. Da ciò si può facilmente intuire la sua importanza per il raggiungimento degli obiettivi previsti nell'ambito della Convenzione Quadro.

Il contributo del settore agricolo al cambiamento climatico

L'attività agricola è responsabile della produzione di gas serra per una quota pari al 13,5% del totale delle emissioni annuali nel mondo. Se parliamo invece di settore agro-alimentare, includendo quindi anche le attività di trasformazione dei prodotti, arriviamo ad una percentuale del 33%. Un'altra peculiarità dell'agricoltura è che essa emette difficilmente CO₂, il gas serra maggiormente presente in atmosfera. Varie fonti (vedi note e bibliografia) sono ormai concordi nell'affermare che almeno il 46% delle emissioni è formato da protossido di azoto, proveniente da attività di tipo strettamente agricolo, in particolare da cambiamenti nell'utilizzo del terreno (18%) ed il 45% da metano, risulta di attività agrozootecniche. Vieppiù, l'attività che più è responsabile dell'emissione di gas serra è la deforestazione, la quale genera emissioni annuali pari a 8.500 milioni di tonnellate di anidride carbonica equivalente. Il contributo dell'agricoltura alla produzione dei gas serra mondiali è comunque aumentato nel corso degli anni: si è passati infatti dai 39 miliardi di tonnellate del 1990 ai 49 miliardi di tonnellate del 2004, con una crescita percentuale del 25,6%. Per quanto riguarda gli scenari futuri, l'IPCC prevede che entro il 2030, in assenza di interventi correttivi, si assisterà ad un aumento del 35-60% dell'ossido di azoto e del 60% di metano prodotti dall'agricoltura.

I dati relativi all' Italia

Dando uno sguardo ai dati dell'Italia, i quali sono disponibili nell'inventario nazionale delle emissioni provenienti da oltre 300 attività antropiche e biogeniche stilato dall'ISPRA e pubblicato nel 2009, si nota che...” nel 2007, l'agricoltura è stata responsabile del 6,7% delle emissioni totali di gas serra, espressi in CO₂ equivalente ed è pertanto la seconda fonte di emissioni di gas serra dopo il settore energia (83%). A livello di singoli gas serra, tale settore è responsabile del 41% delle emissioni nazionali di metano e del 68% delle emissioni nazionali di protossido di azoto. Dal 1990 al 2007, si è verificata una riduzione delle emissioni pari all'8,3%. Nel 2007 le fonti che contribuiscono al totale nazionale delle emissioni dei gas serra derivanti dall'agricoltura sono, in ordine d'importanza, i suoli agricoli (48%), la fermentazione enterica (30%), la gestione delle deiezioni (18%), le risaie (4%) e la combustione delle stoppie (0,05%)”. Tali riduzioni sono attribuibili fondamentalmente alla diminuzione nel numero complessivo di capi per alcune specie zootecniche ed alla variazione negli anni delle superfici e delle produzioni agricole, esse pure in sensibile diminuzione.

Gli effetti del cambiamento climatico sul settore agricolo

Abbiamo visto che l'agricoltura ha sia un'influenza importante sul clima ma, a sua volta è soggetta ai suoi effetti. Di seguito vediamo proprio come il clima e le sue variazioni possono influire sul settore primario. Secondo le stime dell'IPCC il cambiamento climatico porterà ad una riduzione delle rese dei raccolti e della produttività agricola. Precisamente, nelle regioni tropicali persino piccoli aumenti di temperatura condurranno a riduzioni del rendimento. Gli effetti saranno più forti in Africa, in Asia occidentale e in Medio Oriente, mentre, alle medie ed alte latitudini, ad aumenti di temperatura inferiori a 2-3 °C potrebbero anche corrispondere rese agricole maggiori, per effetto dell'estensione della stagione di crescita e dell'espansione delle aree idonee alle coltivazioni. Molte conseguenze del cambiamento climatico sull'agricoltura derivano principalmente dall'acqua. Abbiamo però due situazioni differenti: nell'emisfero settentrionale le proiezioni indicano un incremento della portata dei fiumi e della disponibilità complessiva di acqua; le aree tropicali e le altre zone che si affacciano sul bacino del Mediterraneo, già interessate da un clima semi-arido, gli Stati Uniti orientali, il Sud Africa e alcune aree del sud America, registreranno un significativo declino delle risorse idriche (fino al 30%) l'anno per un aumento globale di temperatura di 2°C ed il 40-50% per aumenti di 4°C. In queste fasce, l'azione dei mutamenti climatici porterà al settore agricolo numerose problematiche, tra le quali preme ricordare: processi di degrado dei suoli; incremento della frequenza e dell'intensità di eventi meteorologici estremi (alluvioni o periodi di siccità); rischio di desertificazione; temperature medie crescenti; aumento anche la salinizzazione delle falde e dei terreni; aumento degli incendi boschivi durante i mesi invernali e l'inasprimento di quelli che già si verificano durante i mesi estivi; modifica degli areali tipici di alcune colture; aleatorietà della produzione, con la necessità di un maggior ricorso allo strumento assicurativo; modifica del calendario stagionale e conseguente revisione delle pratiche di semina e raccolta. Particolare rilevanza assume il possibile effetto sulla qualità dei prodotti e sulla sicurezza alimentare. L'OMS ammonisce infatti che il mutamento delle condizioni climatiche ed ambientali sembra poter comportare una diffusione, in misura superiore rispetto ad oggi, di malattie e contaminazioni nei prodotti agricoli ed alimentari dovute alla proliferazione di batteri, virus e protozoi parassiti, ma anche a malattie zoologiche che possono contagiare l'uomo tramite il contatto diretto con gli animali o con prodotti animali. Concludiamo con una precisazione che riguarda gli effetti diretti sulle colture agrarie dell'aumento di concentrazione di CO₂ atmosferica la cosiddetta carbon fertilization. Paradossalmente, questo fenomeno sembra avere nel complesso un effetto positivo, dal momento che la CO₂ è essenziale per la fotosintesi!

Il settore agricolo in Italia

Secondo le indicazioni provenienti da un convegno realizzato nel 2007 dall'ARPA Puglia a Brindisi e preparatorio alla, per ora unica, Conferenza Nazionale sui Cambiamenti Climatici, tenutasi a

Roma il 12 e 13 settembre dello stesso anno, in Italia"...dal 1990 al 2007 la superficie destinata alla produzione agricola ha subito una significativa riduzione, passando da circa 15 milioni a circa 13 milioni di ettari (circa il 44% della superficie territoriale nazionale). Questo primo segnale di difficoltà è confermato anche dalla riduzione del numero delle aziende agricole, che nello stesso periodo sono passate da 2.593.090 a 2.217.546 unità, con un calo del 15% circa"...."Le colture agricole, per effetto dei cambiamenti climatici previsti, potrebbero spostarsi di 100 metri in quota e di 100 km a nord per ogni grado di aumento della temperatura media. Molte specie agrarie, tra cui alcune d'interesse nazionale come l'olivo, la vite, gli agrumi, sono talmente legate alle condizioni climatiche a cui si sono adattate che un leggero aumento della temperatura o una sensibile riduzione delle piogge potrebbero comprometterne la sopravvivenza. Così, la Sicilia potrebbe diventare inadatta per gli agrumi e la Lombardia potrebbe ospitare gli olivi e le altre colture tipiche dell'ambiente mediterraneo. L'aumento di periodi di siccità e di alluvioni potrebbe incidere negativamente sulla produzione agricola locale, con riduzioni della produttività fino al 20/30%". La particolarità del territorio italiano però potrebbe anche far registrare delle differenze sostanziali tra aree diverse, in particolar modo fra quelle continentali e quelle peninsulari, quest'ultime risultando al momento le più esposte. Le aree a rischio complessivamente identificate in questo progetto di ricerca rappresentano oltre un quinto della superficie nazionale.

Conclusioni

Sembra dunque che le attività umane stiano incidendo pesantemente sul clima e, ad ogni grado in più, l'ambiente cambia inesorabilmente e velocemente. Forse, il punto di non ritorno, a cui accennavamo inizialmente, potrebbe essere più vicino di quanto pensiamo. Secondo James Lovelock abbiamo già oltrepassato questa soglia: «Prima della fine di questo secolo miliardi di noi moriranno e gli ultimi sopravvissuti si troveranno nell'Artico, dove il clima resterà tollerabile»^x. La reazione della comunità ambientalista a queste affermazioni, come a quelle di Lynas, è stata contrastante; infatti, per alcuni, sono esagerate; per altri, vanno ascoltate come monito di ciò che potrebbe accadere se non si aumentano gli sforzi per risolvere il *global warming*. In questo lavoro ci è parso giusto darne conto, anche perché mai come oggi, che viviamo questo momento di grandi travagli, è importante l'apporto democratico alle decisioni sul futuro della nostra "casa". Ma i tecnici, categoria di cui, volenti o no, facciamo parte, hanno l'obbligo di presentare dati e di cercare di fornire, attraverso essi, una possibile chiave di lettura della realtà attuale, senza coinvolgimenti emotivi, politici o comunque senza interpretazioni di parte e questi dati, per ora, ci danno risposte parziali, non conclusive e che ci inducono ad approfondire ulteriormente. Infine, la stessa burocratizzazione dell'IPCC tesa alla perenne ricerca di fondi e gli scandali che ne hanno recentemente minato la credibilità, ci inquieta ed aumenta i nostri dubbi sulla effettività della questione e sulla reale volontà di affrontarla e, se possibile, di risolverla. Le politiche internazionali per la lotta all'inquinamento ed al cambiamento climatico ed alle morti e patologie collegate ai fattori ambientali, coinvolgono le decisioni di molti altri settori quali la gestione del territorio, le infrastrutture, il trasporto, l'energia, il commercio internazionale, la politica estera, gli affari interni, le politiche per le abitazioni, la ricerca, lo sviluppo e l'istruzione. Solo un processo di progressivo ed al contempo totale rinnovamento del sistema produttivo e di consumo e, quindi, sociale, può essere invasivo al punto tale da produrre una gestione delle risorse naturali più efficiente e parsimoniosa, che porti contemporaneamente ad una riduzione significativa e duratura dell'inquinamento, di cui ne è un esempio l'attuale, drammatica vicenda della gestione dei rifiuti in gran parte della Campania e della Calabria. Servono quindi un'economia ed una finanza ecocompatibili, per molti e fondamentali aspetti profondamente diverse da quelle attuali. Questi cambiamenti non possono però essere attuati semplicemente con interventi normativi e coercitivi. Serve infatti ad ogni livello consapevolezza della drammaticità del momento attuale; ma, passata questa congiuntura negativa, ci auguriamo quanto prima possibile, rimarrà coscienza del pericolo intrinseco al sistema attuale o, come troppo spesso accade, superato il momento cadrà tutto nel dimenticatoio fino alla prossima e forse definitiva crisi economico-ambientale?

Note

- i) KRUGMAN P.R. (1992), *The age of diminished expectations*, London
- ii) LUCIANI F., PIERANTOZZI M. (2010), *Possibili impatti dei mutamenti climatici: specificità e globalità*, Economia e ambiente, anno XXIX, n.3, PISA
- iii) EASTERLIN R.A. (1974), *Does Economic Growth Improve the Human Lot? in Nations and Households in Economic Growth: Essays in Honor of Moses Abramovitz*, P.A. DAVID, M.W. REDER (a cura di), Academic Press. Inc., New York
- iv) ZAMBERLAN S. (2007), *Dall'utilità al godimento della vita: la Bioeconomia di Nicholas Georgescu-Roegen*, IPED Edizioni, Pisa
- v) GEORGESCU-ROEGEN N. (1976), *Energy and Economic Myths*. New York-Oxford, USA & UK: Pergamon Press-Oxford University Press, USA
- vi) I materiali sono antimonio, berillio, cobalto, spatofluoro, gallio, germanio, grafite, indio, magnesio, niobio, platinoidi, terre rare, tantalio e tungsteno. EUROPEAN COMMISSION, Enterprise and industry, Raw Materials Supply Group, *Critical raw materials for the EU. Report of the Ad-hoc Working Group on defining critical raw materials 2010*
- vii) WHO, UNEP, WMO (2003), *Climate change and human health. Risks and responses*. A cura di A.J. McMichael, D.H. Campbell-Lendrum, C.F. Corvalán, K.L. Ebi, A.Githeko, J.D. Scheraga, A. Woodward, WHO Publisher
- viii) APAT (2007), *Cambiamenti climatici ed eventi estremi: rischi per la salute in Italia.*, Ed. APAT. Issued in English by the WHO Regional Office for Europe under the title *Health risks of climate change and variability in Italy*
- xi) LYNAS M.(2007), *Six degrees: our future on a hotter planet*, Fourth Estate, London
- x) Tale affermazione è stata rilasciata al quotidiano britannico "The Independent" e pubblicata il 16 gennaio 2006

Bibliografia

- ANDREONI A., PELLIGRA V. (2009), *Microfinanza. Dare credito alle relazioni*, Edizioni Il Mulino, Bologna
- Position Paper sulla Water Economy (2011), Barilla Center Food and Nutrition, Parma
- BROWN LESTER R. (2010), Piano B 4.0. *Mobilitarsi per salvare la civiltà*, Edizioni Ambiente, Milano
- CAMAGNI R. (1992), *Economia Urbana*, Edizioni La Nuova Italia Scientifica (NIS), Roma
- DEPLANO G. (a cura di) (1998), *Pianificazione ambientale e gestione del territorio*, Editrice Universitaria Udinese S.r.L., Udine
- MCKIBBEN B. (2010), *Terra. Come farcela su un pianeta più ostile*, Edizioni ambiente, Milano
- MOLESTI R. (2003), *I fondamenti della bioeconomia*, Franco Angeli Editore, Milano
- ROSSI S., RAMPINI A., BOCCHI S., BOSCHETTI M. (2010), "Operational Monitoring of Daily Crop Water Requirements at the Regional Scale with Time Series of Satellite Data", Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 136 (4):225-231, American Society of Civil Engineers, USA

Classificazione ad oggetti di mappe uso del suolo: esempi a confronto

Eva Savina Malinverni (*), Emanuele Frontoni (**),
Adriano Mancini (**), Primo Zingaretti (**)

(*) DICEA, Università Politecnica delle Marche, 60131 Ancona, e-mail: e.s.malinverni@univpm.it

(**) DII, Università Politecnica delle Marche, 60131 Ancona, e-mail: {mancini, frontoni, zinga}@diiga.univpm.it

Gli autori afferiscono anche allo Spin-Off SI2G, Sistemi Informativi Intelligenti per la Geografia s.r.l.

Via Totti 3, 60131 Ancona, e-mail: info@si2g.it, sito web: <http://www.si2g.it>

Riassunto

L'articolo mette a confronto due differenti approcci di classificazione automatica orientata agli oggetti per ottenere mappe tematiche Uso del Suolo GIS *ready*: *eCognition* della *Definiens* e *T-MAP* della *SI2G*. Entrambe le soluzioni sono basate su procedure che non sfruttano solo il contenuto spettrale del singolo pixel ma definiscono, nella fase di segmentazione, le regioni che costituiscono le entità del territorio stesso, in modo da predisporre una mappa degli oggetti e dei loro attributi.

Selezionando un'area test relativa ad una parte della Provincia di Ancona è stato effettuato un confronto fra le mappe Uso del Suolo (scala 1:10000) ottenute dalle due differenti metodologie. L'obiettivo è stato quello di analizzare sia i risultati della segmentazione, nella maniera più oggettiva e rigorosa possibile, per valutare la qualità geometrica delle entità estratte, sia la coerenza della classificazione tematica derivata. Sono state analizzate in particolar modo i risultati della classificazione relativa alle classi 1, 2 e 3 della *Corine Land Cover* (CLC) al secondo livello, generalizzando i risultati di *T-MAP* che ottiene precisioni e dettaglio al terzo livello della CLC. La sovrastima della classe CLC 2 del 10% rilevata sul prodotto *eCognition* è risultata subordinata alla fase di segmentazione che governa la definizione delle classi e quindi degli oggetti di appartenenza.

Abstract

In this work we define and discuss criteria to evaluate the results of two different object oriented approaches to obtain a GIS-ready land use/cover thematic map: *eCognition* by *Definiens* and *T-MAP* by *SI2G*.

Definiens' eCognition gives a map based on object fuzzy classification and multiresolution segmentation at different scales to obtain different thematic layers. The other approach uses the open source *T-MAP* software, developed by *SI2G* (a spin-off company of Università Politecnica delle Marche), based on a hybrid solution that combines a pixel-based classification with an object-based segmentation. The advantages and disadvantages of both methods in relation not only to the segment detection/definition but also to their thematic attribution/classification are compared on some test areas in a local validation.

Introduzione

Quantificare gli aspetti e le relazioni delle trasformazioni del territorio mediante un supporto cartografico ad hoc diventa oggi di fondamentale importanza per le pubbliche amministrazioni. La costruzione di una informazione cartografica che sia completa, accurata e veloce in grado di dare una descrizione non solo qualitativa ma anche quantitativa di certi fenomeni (vedi uso e consumo del suolo) e strutturare questi dati in modo da poterli rendere interoperabili e quindi condivisibili con qualsivoglia GIS dedicato, è una delle maggiori richieste che viene fatta al settore produttivo cartografico in questi ultimi anni.

La ricerca coinvolge inevitabilmente le discipline della **geomatica** che devono investire in soluzioni atte a creare quegli strumenti che diano una maggiore consapevolezza dei cambiamenti del territorio, che documentino tali fenomeni con un'attenzione che solo le nuove tecnologie di acquisizione ed elaborazione dell' *Earth Observation* riescono a soddisfare. Inoltre i tempi sempre più ravvicinati con cui i dati geografici vengono resi disponibili ci danno ormai la possibilità di effettuare le analisi del territorio in maniera sistematica e continuativa.

Visti i recenti sviluppi dei nuovi sensori satellitari e/o d'aereo, che forniscono immagini con alte qualità spaziali e spettrali, è inevitabile la richiesta di metodologie automatiche per aggiornare mappe tematiche di uso/copertura del suolo a scale sempre maggiori e con legende sempre più dettagliate. Le elaborazioni automatiche che vengono applicate si rifanno a due diversi approcci di classificazione che si riassumono nelle metodologie *pixel-based* e *object-oriented*.

La richiesta però di prodotti GIS *ready* e la necessità di trovare soluzioni affidabili di procedure automatiche, ha portato allo sviluppo in questi ultimi decenni di algoritmi di classificazione ad oggetti. *Object-Based Image Analysis* (OBIA) o anche *Geographic Object-Based Image Analysis* (GEOBIA) è una sotto disciplina della scienza della geoinformazione dedicata al *remote sensing* per la valutazione di immagini satellitari in base alle loro caratteristiche spaziali, spettrali e temporali. Nel 2010 è stato presentato lo stato dell'arte di OBIA (Blaschke, 2010), una panoramica dello sviluppo dell'analisi di immagini *remote sensing* basata su approcci orientati agli oggetti che ha confermato come queste nuove soluzioni possano contribuire ad un'analisi automatica più performante se si utilizzano informazioni spettrali e contestuali (spaziali) in maniera sinergica.

In questo modo i nuovi prodotti superano il cosiddetto effetto sale e pepe delle mappe tematiche provenienti da una classificazione *pixel-based*. Si ha così una definizione delle regioni che, in maniera autoconsistente, corrispondono agli oggetti reali, etichettate con un singolo attributo. Non più pixel misti, ma mappe che sono un prodotto GIS direttamente utilizzabile per il calcolo di indicatori ambientali, per la valutazione metrica del consumo del suolo e per quanto altro.

Il passo importante di questa procedura, che ha consentito tale svolta, è la fase di segmentazione. Per ottenere ottimi risultati sono necessari nuovi approcci di *feature extraction* che consentano di superare problemi ricorrenti. Questi riguardano soprattutto il grado di definizione, la correttezza nella costruzione delle regioni, che devono corrispondere alle entità reali, e la possibilità di costruire livelli sempre più dettagliati di legende.

All'inizio il compito principale di un algoritmo di segmentazione era quello di produrre un insieme di segmenti (poligoni) non sovrapposti, in maniera abbastanza separata dal processo di classificazione. Ma il paesaggio è un sistema complesso fatto di strutture che si aggregano tra loro secondo processi dinamici e a volte poco distinguibili. Oggetti del paesaggio possono infatti rappresentare un contenitore di diverse entità del mondo reale, comprendenti a volte sia caratteristiche naturali che artificiali. Accade quindi molto spesso che durante i processi di segmentazione e classificazione tali oggetti non vengano riconosciuti in maniera distinta e separata. Se l'obiettivo è di costruire una rappresentazione cartografica del territorio basata sulla coerenza con gli oggetti reali è assolutamente essenziale che gli algoritmi che svolgono in maniera automatica questi processi di segmentazione e classificazione siano ottimizzati. Purtroppo la segmentazione automatica di un'immagine in poligoni può produrre spesso una sopra o sotto segmentazione, che solo però in parte riflette la realtà. In linea di massima infatti i segmenti ottenuti sono regioni generate da uno o più criteri di omogeneità per mezzo delle sole informazioni spettrali (media, valori minimi e massimi, varianza, ecc). Soluzioni recenti invece hanno sottolineato quanto siano cruciali anche le informazioni spaziali (Burnett et al., 2003). Inoltre la scala dell'immagine e la scala della mappa finale sono i due punti di riferimento da dover tenere sempre in considerazione nella scelta del metodo di segmentazione e soprattutto dei parametri che lo governano. Una soluzione gerarchica di solito può fornire buoni risultati, ma non sempre questo migliora la fase seguente di classificazione.

In letteratura molti algoritmi di segmentazione sono implementati in diversi software open source e commerciali. Tutti hanno l'obiettivo di dividere l'immagine in gruppi omogenei e semanticamente

significativi di pixel, utili per le ulteriori fasi di classificazione, che consentono di ottenere oggetti rappresentativi: questo è il comune denominatore della metodologia OBIA. Le differenze sono principalmente nel modo in cui si realizza questa suddivisione della realtà in oggetti.

L'attenzione negli ultimi tempi si è spostata sull'aspetto epistemologico e ontologico della segmentazione ad oggetti. In questo modo non si considerano solo le informazioni puramente spettrali di un oggetto presente in un'immagine ma si introduce una combinazione di informazioni spettrali e spaziali (contestuali) che sottoposti ad un insieme di regole riescono a soddisfare una corretta definizione dei segmenti stessi (Ehlers et al., 2003).

Questo porta a sviluppare applicazioni focalizzate ad un sistema geografico di tipo intelligente che riesce ad incorporare informazioni appropriate al contesto geografico stesso in grado di condizionare la fase di classificazione. Questa fase comporta risoluzioni a scale diverse che sono in corrispondenza coi relativi oggetti della realtà. Alcune applicazioni hanno infatti dimostrato che è importante non solo aggregare pixel in segmenti per definire un oggetto puro, ma anche affrontare le caratteristiche degli oggetti all'interno di regioni eterogenee, che riflettono la complessità del segmento stesso. Infatti la classificazione gerarchica usata nel sistema *Corine Land Cover* e in altri sistemi, definisce rigidamente le strutture sul territorio, considerandole in modo esaustivo come omogenee ed uniformi, e assegnandovi una e una sola classe tematica in modo *hard*, senza considerare le sfumature (*fuzzy*) presenti sul territorio stesso. Metodo questo sicuramente necessario quando si vuole produrre della cartografia tematica, in questo caso relativa all'uso del suolo, che deve essere accompagnata in modo statico da una legenda che ne descriva il contenuto. Ma oggi si lavora con banche dati e come tale l'informazione cartografica è un dato utile per ricavare altre informazioni. Sarebbe allora utile adottare un modello di classificazione che tenga conto delle differenti sfumature presenti in un poligono, che ne fanno la sua forza e la sua distinzione e che nel tempo consentono anche di valutare i cambiamenti avvenuti al suo interno, spesso nascosti, definendo poligoni dominanti.

Ne sono un esempio le classi miste che possono facilmente indurre in errore in una classificazione di tipo automatico e nel contempo però contenere in maniera eterogenea altre classi dello stesso livello, ad esempio, nella legenda *Corine*, la classe 221 (vite) può essere a sua volta contenuta nella classe sistemi particellari complessi 242, o mista ad altre colture permanenti come l'olivo.

La soluzione in questo caso sarebbe in parte risolvibile adottando un sistema *rule-based*. Di fronte a sistemi particellari complessi archiviare l'informazione della loro composizione dando le percentuali degli attributi presenti in un poligono permetterebbe infatti di definire al meglio la loro descrizione.

Ci troviamo così di fronte ad una nuova frontiera della produzione cartografica che richiede necessariamente l'integrazione di conoscenze specialistiche e l'ottimizzazione di procedure in grado di migliorare sensibilmente la precisione della classificazione, quando l'approccio è puramente basato su una soluzione *object oriented*.

Nei prossimi paragrafi valutiamo mappe uso del suolo derivate con due diversi metodi di classificazione automatica. Entrambi i metodi sono orientati agli oggetti, ma la procedura per effettuare la classificazione si basa su approcci completamente diversi. *eCognition* della *Definiens* fornisce una mappa basata su una classificazione *fuzzy* che implementa una segmentazione multirisoluzione. L'altro approccio utilizza il software *T-MAP*, sviluppato da *SI2G* (*spin-off* dell'Università Politecnica delle Marche), basato su una soluzione ibrida che combina una classificazione pixel e una segmentazione ad oggetti di tipo *rule-based*.

Il confronto si basa sulla validazione locale di alcune aree test che definiscono alcune classi di uso del suolo di una cartografia a scala regionale. Ci si soffermerà non solo sulla definizione dei segmenti ma anche sulla attribuzione tematica data agli stessi. Il paragrafo successivo illustrerà le differenti metodologie che hanno portato alla costruzione del prodotto. Poi vengono descritti i criteri di valutazione e discussi i risultati.

La cartografia ad oggetti per la gestione del territorio: metodi a confronto

In questo paragrafo si illustrano brevemente le diverse soluzioni utilizzate per una classificazione ad oggetti usando *eCognition* della *Definiens* e l'approccio ibrido di *T-MAP* della *SI2G*.

eCognition è un software di analisi di immagini in commercio a partire dal 2000 (Flanders et al., 2003; Benz et al., 2004), che si basa su una segmentazione multirisoluzione-gerarchica ad oggetti seguito da una classificazione *fuzzy* (Lang et al., 2007). Diverse applicazioni presentate in letteratura dimostrano che le classificazioni basate su questo metodo sono in molti casi superiori ai tradizionali metodi per pixel, ma per ottenere un buon prodotto è spesso richiesto un processo non così semplice da seguire. In effetti i parametri per la segmentazione multirisoluzione devono essere scelti accuratamente per definire tutti i livelli multipli di scala. La seguente definizione delle funzioni per eseguire la classificazione supervisionata in caso di legende articolate diventa di volta in volta complicata e richiede soluzioni sempre diverse. La struttura della legenda può essere molto complessa quando il livello di dettaglio è molto alto ed è a questo punto che la sua definizione necessita di conoscenze approfondite sia degli strumenti interni al software che specialistiche in relazione agli oggetti da classificare.

In *eCognition* il processo di classificazione coinvolge diverse caratteristiche dell'oggetto come il colore, la consistenza, la forma, la scala, i rapporti spaziali con gli altri oggetti della scena. Ogni parametro scelto contribuisce a suddividere l'immagine in oggetti significativi in maniera prossima al processo di visione umana che tende a generalizzare le immagini in aree omogenee. Ma gli oggetti del mondo reale non sempre hanno confini rigidi e ben definiti, possono anche avere transizioni morbide nella copertura del suolo, a seconda della scala dell'immagine o dell'applicazione richiesta. Il processo di classificazione *fuzzy* è alquanto impegnativo. Esso è basato su una soluzione iterativa che coinvolge sia la fase di segmentazione che la successiva classificazione per ottimizzare i risultati. Ulteriori osservazioni che si possono sottolineare nell'utilizzo di *eCognition* riguardano la difficoltà di selezionare le funzioni adatte per localizzare in maniera automatica soprattutto quelle coperture definite eterogenee, come per esempio le aree urbane densamente popolate o le coperture miste (artificiale e naturale insieme) o più classi di uso del suolo derivate dall'intervento dell'uomo.

T-MAP è anche esso un software che consente mediante procedure automatiche l'estrazione di informazioni da immagini telerilevate e/o aeree per la creazione, in tempi brevi e costi contenuti, di cartografie tematiche ed il *change detection*, in un ambiente *GIS-ready* (Zingaretti et al., 2009).

Dal punto di vista tecnico *T-MAP* combina i tradizionali approcci *pixel-based* and *object-based* in una metodologia di classificazione "ibrida" (Bernardini et al., 2010) che si avvale di strumenti di segmentazione, un classificatore robusto (AdaBoost) e l'assegnazione *rule-based* del tematismo alle regioni estratte.

T-MAP permette un'analisi multi-scala e l'estrazione di classi tematiche aggiuntive anche spettralmente eterogenee (Zingaretti et al., 2009). L'approccio orientato agli oggetti fa sì che, oltre alle proprietà spettrali utilizzate, siano discriminanti sia le componenti spaziali che influenzano l'estrazione delle regioni significative che il successivo sistema di regole di assegnazione. Quello che rende questo software alternativo è la sua organizzazione in una struttura modulare, l'ambiente *open source* permette infatti facili personalizzazioni che consentono di migliorare e ampliare le sue prestazioni in termini di tempi e accuratezze e la sua versatilità. Ulteriore punto di forza di *T-MAP* è un'analisi dettagliata dei risultati della classificazione in relazione ai singoli oggetti identificati. Infatti non è sufficiente conoscere in maniera globale l'accuratezza di una classificazione automatica, ma è importante sapere, per un suo valido utilizzo, quali siano effettivamente le regioni classificate correttamente e quali quelle incerte da fotointerpretare. Così, per guidare l'utente nell'analisi e il successivo uso dei risultati ottenuti, *T-MAP* affianca alla mappa uso del suolo una mappa di stabilità. Questo consente anche di identificare le principali cause degli errori di classificazione e di valutare nuovi approcci (*fuzzy*, *neurale*, *rule based*, etc.) per evitarli.

Si è già detto come prerequisito per estrarre oggetti significativi e topologicamente corretti e idonei alla descrizione cartografica sia necessario un processo di segmentazione accurato. Lo strumento di estrazione automatica offerto da *T-MAP* consiste in un approccio piramidale che combina insieme tecniche di *edge-detection* e *region-growing*. La selezione di opportuni parametri di segmentazione (area minima cartografabile, differenza spettrale, livelli di piramide, fattore di scala, ecc) rende possibile la personalizzazione dell'analisi e l'estrazione di *feature* specifiche (edifici, strade, regioni, ecc), con tempi di calcolo relativamente ridotti e alta affidabilità.

Per poter meglio interpretare le caratteristiche degli oggetti del territorio, il software *T-MAP* fornisce la classificazione in un ambiente GIS. L'informazione di uso del suolo viene archiviata con tutte le sue sfumature in un prodotto interoperabile e interrogabile. Ciò significa descrivere (e non solo classificare) il territorio, associando differenti percentuali di copertura ai poligoni che derivano dalla segmentazione. In questo modo, sfruttando la conoscenza dell'uso del suolo ottenuta con una classificazione ad oggetti e coinvolgendo le informazioni spaziali di forma e contesto delle entità cartografiche estratte è possibile impiegare quelle metriche di paesaggio, che sono utili indicatori ambientali per descrivere le trasformazioni del territorio. Questo consente di condurre un'analisi spaziale in ambiente GIS non solo in termini quantitativi, basandosi su statistiche di occupazione del suolo, ma anche in termini descrittivi fornendo informazioni sull'organizzazione spaziale del territorio stesso.

Criteri di valutazione per una corretta definizione delle differenti prestazioni dei due metodi

Le mappe tematiche di uso del suolo analizzate in questa ricerca provengono dai due strumenti software descritti nel paragrafo precedente (*eCognition* e *T-MAP*). Le immagini utilizzate sono state acquisite dal sensore digitale multispettrale Leica ADS40 nel luglio 2007 e sono relative ad una porzione a sud-est della Provincia di Ancona, con lo scopo di produrre una Carta Uso del Suolo a scala regionale 1:10.000. Il prodotto principale messo a confronto è stato fornito dalla Regione Marche ed è una porzione della Carta Uso del Suolo ottenuta con *eCognition*, con un'accuratezza globale del 80.54%. La classificazione *object oriented* è stata prodotta per mezzo di una segmentazione gerarchica articolata su 4 livelli di scala (200, 100, 50, 20), che hanno fornito 4 differenti segmentazioni con un livello di dettaglio molto diversificato (dal fine al grossolano), da impiegare successivamente in maniera gerarchica per una classificazione al secondo livello della legenda *Corine Land Cover* (CLC). Per definire, a questo livello tematico, alcuni tipi di classi di uso del suolo, come le coperture artificiali, la rete stradale e gli spazi verdi urbani, è stato necessario l'uso di regole di prossimità spaziale, derivate dalla dimensione orizzontale e verticale della segmentazione multirisoluzione. Sicuramente questo ha richiesto un grande sforzo di implementazione, una poca ripetitività del processo e un'alta specializzazione da parte degli operatori, che hanno aumentato la complessità dei flussi di lavoro (Bocci et al, 2010).

Il confronto è stato eseguito con la mappa tematica uso del suolo ottenuta con la procedura implementata in *T-MAP* e realizzata per la porzione di interesse dalla SI2G per testare in particolar modo le prestazioni del proprio prodotto software.

E' stata definita una segmentazione piramidale con un buon dettaglio e, dopo aver effettuato una classificazione supervisionata con *Adaboost*, le caratteristiche tematiche di ogni segmento sono state definite mediante semplici regole e percentuali (algoritmo *Winner Takes All* - *WTA*), il che rende questo processo una soluzione di tipo ibrido. L'estrazione delle 15 classi al secondo livello CLC ha fornito valori di *Producer Accuracy* maggiori del 75% e una accuratezza globale dell'89%. In particolare l'approccio basato sulle regole *WTA*, tenendo conto sia delle percentuali di pixel classificati in un segmento, sia delle informazioni aggiuntive, come il contesto, la forma e la prossimità, ha permesso di definire, in modo più dettagliato, altre coperture della legenda uso del suolo, scendendo anche ad un terzo livello. Nell'esempio che viene riportato è stato possibile determinare sistemi colturali complessi (classe 2.4.2 CLC) e distinguere tra tessuto urbano continuo e discontinuo (rispettivamente classe 1.1.1 CLC e classe 1.1.2 CLC).

Il primo confronto effettuato su entrambe le mappe tematiche fornite dai due metodi è riferito ai risultati della segmentazione. Lavorando in un ambiente GIS è stata eseguita un'analisi topologica e geometrica utilizzando come riferimento poligoni digitalizzati sull'area test sulla base di una interpretazione visiva. L'obiettivo è stato quello di analizzare i risultati ottenuti in maniera la più oggettiva e rigorosa possibile per valutare l'accuratezza della segmentazione, concentrandosi sulla qualità geometrica di alcune classi in particolare.

Il primo approccio ha portato a contare il numero di poligoni che definiscono un oggetto con il medesimo attributo e a valutare l'area coperta rispetto al segmento di riferimento digitalizzato per trovare la perfetta corrispondenza della segmentazione automatica con l'oggetto reale. In seguito per una valutazione più completa sono stati analizzati i segmenti facenti parte di una data classe tematica. Infatti, a volte sono necessari diversi livelli di segmentazione per definire le regioni delle classi relative alle superfici agricole, piuttosto che a quelle artificiali.

Così abbiamo analizzato i risultati della segmentazione per alcune classi CLC per mezzo di una facile procedura di valutazione in grado di quantificare imprecisioni nella segmentazione. Imprecisioni che in linea di massima si riferiscono ad un eccessivo numero di segmentazioni o a sotto segmentazioni, e che quindi hanno generato troppi o troppo pochi poligoni. Questo obiettivo è stato raggiunto per mezzo di alcune metriche oggetto di tipo topologico e geometrico applicate localmente. Le metriche si basano su differenze di dimensione e posizione tra i risultati della segmentazione e le entità usate come riferimento. Nello studio abbiamo calcolato le metriche topologiche e geometriche per 19 entità di riferimento. L' *overlay* topologico fornisce l'indice *AR* (Area Relativa) definito come il rapporto tra la dimensione dell'area A_{OR} , cioè dell'entità di riferimento *OR* (Oggetto di Riferimento), e le dimensioni dell'area A_{OS} , coperta dalla corrispondente regione ottenuta dalla segmentazione *OS* (Oggetto Segmentato) (Eq. 1).

$$AR = \frac{A_{OR}}{A_{OS}} \quad [1]$$

Questo indice valuta la parte di sovrapposizione tra i due oggetti. Il valore 1 indica una corrispondenza completa fra l'oggetto di riferimento e quello segmentato, mentre valori molto più piccoli o superiori a 1 indicano discordanze.

Un eccesso di segmentazione può verificarsi quando le dimensioni dell'oggetto segmentato sono più piccole delle dimensioni dell'oggetto di riferimento corrispondente ($A_{OR} > A_{OS}$). La sotto segmentazione può essere identificata considerando i risultati della segmentazione ad un livello superiore.

Discussione dei risultati

I risultati sono riferiti ad una porzione di strisciata del sensore Leica ADS40 su un'area test di circa 16 Km² a sud-est della Provincia di Ancona (Figura 1) a cui sono state applicate le due procedure di classificazione automatica per ottenere le corrispondenti mappe uso del suolo (Figura 2).



Figura 1 – L'area test acquisita dal sensore Leica ADS40.

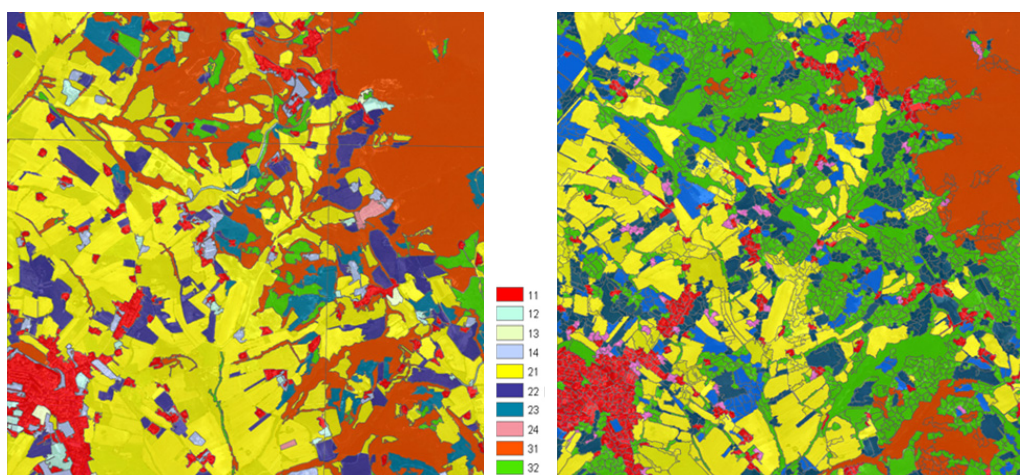


Figura 2 – Classificazione di eCognition (dx), classificazione di T-MAP (sx).

Abbiamo eseguito principalmente due tipi di valutazione: i) una validazione quantitativa di tipo globale dei risultati della classificazione (la valutazione dei dati tematici è presentata nelle Tabelle 1-3), ii) una validazione locale basata su una serie di oggetti di riferimento per testare la bontà dei risultati della segmentazione, in primo luogo mediante l'utilizzo dell'indice *AR* (Tabella 4).

I dati della validazione globale mostrano come i risultati di *eCognition* totalizzino un 28% in meno di area assegnata alla classe 3.2 CLC rispetto ai risultati ottenuti con *T-MAP*. Le classi che compensano tale riduzione sono le classi al secondo livello delle superfici agricole (2 CLC) con circa +10% (con un massimo di +16% per la classe 2.1), la classe 3.1 CLC con +15% e le classi 1.2, 1.3 e 1.4 CLC con circa il 3%.

Il numero dei poligoni complessivi messi a confronto sono 467 per la mappa uso del suolo ottenuta con *eCognition* e 2341 per la mappa ottenuta con *T-MAP* che ha eseguito una classificazione al terzo livello poi generalizzata al secondo per il confronto.

<i>T-MAP</i>	111	83	313510	2.0 %
	112	217	841970	5.0 %
	<i>Tot.</i>	300	1155480	7.0 %
	Classe CLC	N° Poligoni	Area (mq)	Area %
<i>eCognition</i>	11	95	1146029	7.0 %
	12	23	189029	1.0 %
	13	4	39277	0.2 %
	14	49	390510	2.0 %
	<i>Totale</i>	171	1764845	10.2 %

Tabella 1 – Validazione globale per la classe 1 CLC (Superfici Artificiali).

<i>T-MAP</i>	21	356	4602771	27.0 %
	22	369	1939042	11.5 %
	23	202	1222543	7.0 %
	24	54	208406	1.2 %
	<i>Tot.</i>	981	7972762	46.7 %
	Classe CLC	N° Poligoni	Area (mq)	Area %
<i>eCognition</i>	21	80	7282659	43.0 %
	22	73	1422795	8.5 %
	23	35	723107	4.3 %
	24	2	42314	0.2 %
	<i>Tot.</i>	190	9470875	56.0 %

Tabella 2 – Validazione globale per la classe 2 CLC (Superfici Agricole Utilizzate).

<i>T-MAP</i>	31	100	2478377	15 %
	32	960	5170597	31 %
	<i>Tot.</i>	1060	7648974	46 %
	Classe CLC	N° Poligoni	Area (mq)	Area %
<i>eCognition</i>	31	61	5031510	30 %
	32	45	509947	3 %
	<i>Tot.</i>	106	5541457	33 %

Tabella 3 – Validazione globale per la classe 3 CLC (Territori Boscati e Ambienti Seminaturali).

I dati della fotointerpretazione risultano concordare maggiormente con i risultati di *T-MAP*, ma questo non è sufficiente per validare il confronto; serve trovare criteri obiettivi per valutare in maniera automatica la bontà di entrambe le segmentazioni e le successive classificazioni. Si è quindi proceduto ad analizzare un set di poligoni estratti tra quelli di riferimento ottenuti per fotointerpretazione. In Tabella 4 sono riportate le principali caratteristiche dei 19 poligoni assunti come oggetti di riferimento. Essi corrispondono a circa l'1.6% della superficie totale dell'area test e appartengono tutti alla classe 2 CLC. Analizzando l'indice *AR* si può osservare che in un solo poligono (ID 7) il prodotto derivato da *T-MAP* non si adatta bene (errore maggiore di un terzo) all'*OR* corrispondente. Al contrario questo accade ben 12 volte su 19 se riferito al prodotto ottenuto con *eCognition*; più precisamente, solo i poligoni identificati con ID 4 e ID 9 si adattano molto bene agli oggetti di riferimento, riportando un indice *AR* rispettivamente pari a 1.07 e 1.11 (nel caso di *eCognition*, poligoni con valori di A_{OS} più grandi del 25% corrispondono agli oggetti con ID 0, 2 e

11). Se invece si considerano i poligoni che presentano un errore maggiore del 25% se ne trovano 7 per T-MAP contro ben 16 su 19 per *eCognition*. La motivazione di queste incongruenze è dovuta ad una possibile sotto segmentazione, e quindi, ad una scelta errata dei parametri di segmentazione o nella definizione della scala di classificazione.

Infine, abbiamo confrontato le classi CLC fotointerpretate sui poligoni di riferimento con le classificazioni ottenute in automatico. Come mostrato, sempre nella Tabella 4, sono stati riscontrati 4 errori di classificazione nel prodotto derivato da *T-MAP* (i poligoni con ID 4, 5, 11 e 17) e 5 errori di classificazione nella mappa ottenuta con *eCognition* (i poligoni con ID 1, 2, 5, 17 e 18).

Oggetti di riferimento			<i>T-MAP</i>				<i>e-Cognition</i>			
ID	Classe CLC	Area	N. Pol	Classe CLC	Area	AR	N. Pol	Classe CLC	Area	AR
0	22	8784	2	22	8238	1,07	1	22	6655	1,32
1	24	11147	2	24	8550	1,30	2	11/14	22517	0,50
2	23	17038	3	23	13871	1,23	1	21	13327	1,28
3	22	3377	1	22	4484	0,75	1	22	8283	0,41
4	21	21922	1	23	22941	0,96	1	21	20426	1,07
5	24	14185	4	32	17382	0,82	2	11/22	17468	0,81
6	22	4522	1	22	5596	0,81	1	22	16580	0,27
7	22	968	1	22	3786	0,26	1	22	16580	0,06
8	21	28688	1	21	34510	0,83	1	21	134420	0,21
9	23	22398	1	23	25938	0,86	2	23	20101	1,11
10	21	9157	1	21	8599	1,06	1	21	209956	0,04
11	31	37255	2	32	35482	1,05	1	31	28970	1,29
12	21	20312	1	21	20116	1,01	1	21	4425296	0,00
13	21	15184	1	21	13101	1,16	1	21	4425296	0,00
14	21	9209	1	21	7044	1,31	1	21	4425296	0,00
15	22	2359	1	22	3170	0,74	1	22	12160	0,19
16	22	16938	1	22	14013	1,21	1	22	86991	0,19
17	22	7344	1	21	7401	0,99	1	21	21223	0,35
18	21	25216	6	21	29169	0,86	1	24	36152	0,70

Tabella 4 – Dati per la validazione del confronto fra i 19 poligoni presenti nelle due mappe di uso del suolo.

Conclusioni

Per rispondere alle richieste (tempi e prestazioni) del mercato cartografico, che richiede un'informazione territoriale tematica la più accurata e affidabile possibile, sono stati messi a confronto due approcci, che forniscono un prodotto orientato agli oggetti. Purtroppo come si è potuto constatare dai risultati della validazione le performance di entrambi i metodi dipendono fortemente da molti fattori contingenti: la risoluzione del pixel a terra, le caratteristiche tessiturali del territorio e la sua complessità. In una soluzione automatizzata il prodotto inoltre è a sua volta condizionato dalle scelte delle impostazioni metodologiche dei software stessi e dalla scelta dei parametri per l'esecuzione automatica delle elaborazioni.

I risultati delle mappe uso del suolo, relative in particolar modo alle classi 1, 2 e 3 CLC al secondo livello, pur avendo accuratèzze globali dell'80,54% in *eCognition* e dell'89% in *T-MAP*, hanno rilevato una sovrastima della classe CLC 2 del 10% sul prodotto *eCognition*, subordinata principalmente alla fase di segmentazione, che governa a monte la definizione delle classi e quindi degli oggetti di appartenenza. Inoltre con *eCognition* gli errori maggiori nell'assegnazione delle classi si sono riscontrati a seguito di sotto segmentazioni ottenute per una errata scelta della scala di

output a cui poi hanno fatto seguito errate classificazioni. Sicuramente con la scelta di parametri più opportuni si sarebbero potuti ottenere risultati più coerenti. In generale rimane il fatto che la costruzione di mappe tematiche è sempre un processo che deve essere guidato da un'esperto, ed in questo caso il software *T-MAP* risulta essere di più facile utilizzo e intuitivo rispetto a *eCognition*. Ulteriori confronti potranno essere eseguiti sulle mappe di stabilità, che con criteri diversi i due software producono per avvalorare l'accuratezza qualitativa del singolo poligono.

Ringraziamenti

Si ringrazia la PF Informazioni territoriali e beni paesaggistici della Regione Marche per il materiale cartografico.

Bibliografia

Blaschke T. (2010), "Object based image analysis for remote sensing", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 65, 2-16.

Benz U. C., Hofmann P., Willhauck G., Lingenfelder I., Heynen M. (2004), "Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information", *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 58, 239-258.

Bernardini A., Frontoni E., Malinverni E.S., Mancini A., Tassetti A.N., Zingaretti P. (2010), "Pixel, Object and Hybrid Classification Comparison", *Special Issue on Geographic Object Based Image Analysis, Journal of Spatial Science*, 55(1), 43-54.

Bocci M., Salvestrini L. (2010), "Classificazione automatica di immagini aeree multispettrali ADS40 per la realizzazione di un prototipo di Carta dell'Uso del Suolo 1:10.000 dell'intero territorio della Regione", *Atti 14ª Conferenza Nazionale ASITA*, Brescia, 297-302.

Burnett C., Blaschke T. (2003), "A multi-scale segmentation/object relationship modelling methodology for landscape analysis", *Ecological Modelling*, 168 (3), 233-249.

Ehlers M., Gähler M., Janowsky R. (2003), "Automated analysis of ultra high resolution remote sensing data for biotope type mapping: New possibilities and challenges", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 57 (5-6), 315-326.

Flanders D., Hall-Beyer M., Pereverzoff J. (2003), "Preliminary evaluation of eCognition object-based software for cut block delineation and feature extraction", *Canadian Journal of Remote Sensing*, 29 (4), 441-452.

Lang S., Tiede D. (2007), "Definiens Developer", *GIS Business*, 9/2007, 34-37.

Zingaretti P., Frontoni E., Malinverni E.S., Mancini A. (2009), "A hybrid approach to land cover classification from multi spectral images", *Image Analysis and Processing- ICIAP 2009*, P. Foggia, C. Sansone, M. Vento Eds., *Lecture Notes in Computer Science Series - LNCS 5716*, Springer, 500-508.

Zingaretti P., Malinverni E.S., Frontoni E., Bernardini A., Tassetti A.N., Mancini A. (2009), "T-MAP: classificazione automatica per un'analisi GIS ready del territorio", *Atti della 13ª Conferenza ASITA*, Bari, 1919-1924.

Integrazione di tecniche LiDAR e FEM per lo studio e l'analisi della stabilità dei pendii in frana

Andrea Manconi (*), Daniele Giordan (*), Paolo Allasia (*), Marco Baldo (*),
Giorgio Lollino (*), Simone Ceresini (**), Armando Cavazzini (**)

(*) CNR-IRPI, Gruppo di Geo-Monitoraggio, Torino, Italia, Tel. +39011/3977829, Fax: +39011/3977820

Email: andrea.manconi@irpi.cnr.it, web: www.irpi.to.cnr.it

(**) BLOM CGR, Parma, Italia, www.blomasa.com

Riassunto

L'obiettivo principale di questo lavoro è quello di definire delle procedure semi-automatiche che, a partire da un modello digitale del terreno (DTM) realizzato da un rilievo LiDAR aereo, portino alla costruzione di un modello tridimensionale di un pendio soggetto ad instabilità. Usando successivamente il metodo di calcolo numerico agli elementi finiti, il modello può fornire parametri utili sia per l'analisi di stabilità del pendio in frana che per la valutazione di opere di stabilizzazione da effettuare o eventualmente già in atto. Le procedure sviluppate sono state applicate in via sperimentale per lo studio del movimento franoso di Grange Orgiera, un fenomeno che interessa il territorio del comune di Sampeyre (CN).

Abstract

In this work we define a set of procedures that, starting from a digital terrain model (DTM) produced from an aerial LiDAR survey, help to build-up a 3D mechanical model of a region prone to landslide hazard. The model is then used to perform a slope stability analysis based on the finite element method numerical technique. The procedure has been tested on the landslide movement known as Grange Orgiera, Sampeyre, located in the Cuneo province, northern Italy. In future, similar analyses will be performed also in other areas to better understand the evolution of similar landslide phenomena.

Introduzione

In Italia il rischio idrogeologico è diffuso in modo capillare, e si presenta in modo differente a seconda delle peculiarità geomorfologiche del territorio. Le forme di dissesto sono un problema di notevole rilevanza, che continua a provocare danni ingenti ai beni e la perdita di molte vite umane. In particolare, i movimenti franosi rappresentano una percentuale considerevole dei fenomeni di dissesto idrogeologico che colpiscono il territorio italiano. Nell'ambito del monitoraggio e analisi dei movimenti franosi, l'utilizzo di tecniche innovative di rilevamento fornisce un apporto fondamentale per la comprensione delle cause di dissesto e può essere decisivo per la mitigazione di un eventuale rischio ad esso associato. Ad esempio, le tecniche di telerilevamento hanno rivoluzionato la possibilità di osservare i fenomeni franosi ad una scala e con una risoluzione impensabile fino a pochi anni fa. I modelli digitali del terreno (DTM) sono diventati in molti casi una indispensabile base di partenza e uno strumento fondamentale per l'analisi e lo studio dei fenomeni di dissesto. I DTM costruiti a partire dai rilievi effettuati con tecniche di laser scanning (LiDAR) da aereo possono coprire aree di decine di chilometri quadrati, e raggiungere in alcune condizioni un'accuratezza dell'ordine del centimetro. Attraverso analisi multitemporali, ovvero un confronto di DTM acquisiti in momenti diversi, è possibile inoltre eseguire un monitoraggio dell'evoluzione del fenomeno nel tempo. Negli ultimi 25 anni c'è stata una netta evoluzione degli strumenti a disposizione per quanto riguarda le analisi di stabilità dei versanti. Si è passati infatti

dalle analisi bi-dimensionali di tipo grafico realizzate manualmente alla possibilità di effettuare analisi numeriche tridimensionali complesse anche su un personal computer per mezzo software che sono oramai accessibili in larga scala. In questo contesto, l'obiettivo principale di questo lavoro è quello di definire delle procedure che, a partire da un modello digitale del terreno (DTM), realizzato attraverso un rilievo LiDAR da aereo, portino alla costruzione di un modello meccanico tridimensionale. Quest'ultimo, usando il metodo di calcolo numerico agli elementi finiti (FEM), potrà fornire in maniera semi-automatica dei parametri utili sia per l'analisi di stabilità del pendio in frana (Fattore di Sicurezza) che per la valutazione di opere di stabilizzazione da effettuare o eventualmente già in atto.

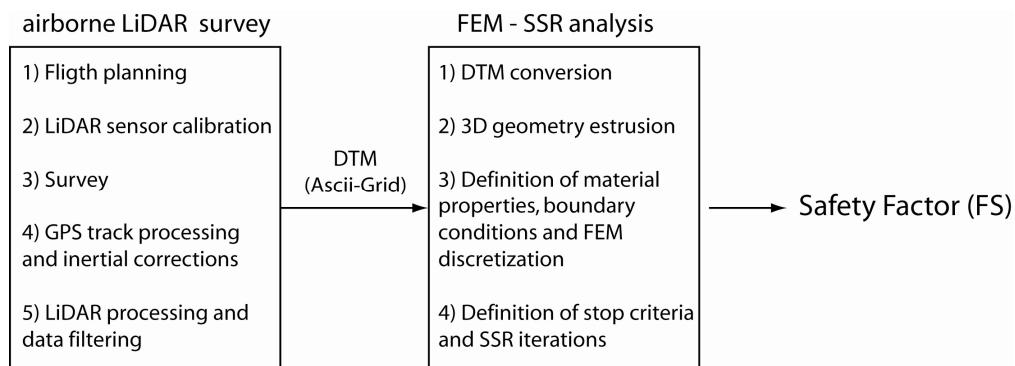


Figura 1 – Flow chart dell' algoritmo considerato per il calcolo del Fattore di Sicurezza (FS) a partire da un rilievo LiDAR aereo.

Metodi

In figura 1 viene mostrato il diagramma di flusso relativo all'algoritmo considerato in questo studio per ottenere un valore del Fattore di Sicurezza (FS) di un pendio a partire da un rilievo LiDAR aereo. Le prime fasi dell' algoritmo riguardano l'acquisizione, l'elaborazione e la classificazione di un dato LiDAR aereo. Poiché la descrizione dettagliata di questi procedimenti non è l' argomento centrale di questo lavoro si rimanda il lettore a pubblicazioni di riferimento specifiche (e.g., Shultz et al., 2004). Il prodotto finale considerato a valle dell'elaborazione del dato LiDAR è un DTM a maglia regolare, il quale viene esportato in un file di testo di interscambio (formato ASCII-GRID). Per poter generare e analizzare un modello meccanico a partire dal DTM, quest' ultimo deve essere convertito in un formato leggibile dal software di analisi ad elementi finiti (FEM). Per quanto riguarda l'analisi FEM, in questo lavoro è stata utilizzata suite software Comsol Multiphysics®, release 4.1, la quale fornisce diversi moduli di processamento sia per l'analisi di modelli meccanici complessi (Structural Mechanics® module) che per la realizzazione di procedure iterative attraverso l'integrazione di subroutines scritte in linguaggio Matlab® (Matlab Live Link® module). E' stata sviluppata una prima subroutine di trasformazione del file ASCII-GRID in un altro file di testo che possa essere importato dal software FEM (vedi specifiche manuale Comsol Multiphysics®). Queste informazioni verranno utilizzate nello step successivo da una seconda subroutine, la quale attraverso l'integrazione di comandi Matlab® e facilities Comsol Multiphysics® costruisce inizialmente parallelepipedo, di dimensioni pari all' estensione dell' area in esame e di altezza unitaria, e per "estrusione", guidata da una funzione tridimensionale discreta (ovvero il DTM stesso), genera un modello meccanico 3D che riproduce i dettagli topografici di superficie dell'area in esame. La risoluzione del dettaglio topografico è pari a quella considerata a valle dell'elaborazione del dato LiDAR aereo. Successivamente, al modello 3D vengono assegnate le proprietà dei materiali presenti nell' area in esame, le eventuali condizioni al contorno e viene discretizzato per il calcolo successivo calcolo FEM. In questo lavoro abbiamo preso in

considerazione il comportamento di materiali elastici-perfettamente plastici, in quanto essi rappresentano una alta percentuale della casistica riscontrabile nell'analisi della stabilità pendii in frana. Esistono diverse procedure per il calcolo del FS per mezzo di software FEM. In questo lavoro è stata utilizzata la procedura denominata *Shear Strength Reduction* (SSR), la quale ha dimostrato di restituire risultati compatibili con i metodi analitici standard (Stead et al., 2001; Hammah et al., 2006). Per un materiale elastico-perfettamente plastico che segue il modello di Mohr-Coulomb, si considera:

$$\tau = c + \tan(\phi) \sigma \quad [1]$$

dove τ è la resistenza al taglio (*shear strength*), c la coesione e ϕ l'angolo di attrito interno del materiale. La SSR consiste nel variare in maniera iterativa (per $i = 1 \rightarrow N$), riducendola progressivamente di un fattore K, la resistenza al taglio del materiale, quindi:

$$\frac{\tau}{K} = c' + \tan(\phi') \sigma \quad [2]$$

dove:

$$c' = \frac{c}{K}; \quad \phi' = \tan^{-1} \left[\tan \left(\frac{\phi}{K} \right) \right] \quad [3]$$

Quando il calcolo numerico FEM non riesce trova una soluzione dopo un numero massimo di iterazioni predefinito (convergenza), il valore K relativo all'iterazione i corrente corrisponde al fattore di sicurezza FS. Questo può essere considerato, in termini pratici, il fattore di cui deve essere ridotta la resistenza dei materiali affinché il pendio collassi. Pertanto, per $FS \geq 1$ si avrà la condizione di equilibrio, mentre $FS < 1$ denota una condizione di instabilità.

Esempio: la frana di Grange Orgiera, Sampeyre (CN)

La frana di Grange Orgiera (vedi figura 2) è situata a monte del centro abitato di Villar, sul versante sottostante la dorsale di spartiacque tra la valle Po e la valle Varaita (report ARPA Regione Piemonte, 2009). Il pendio, nel tratto compreso tra il fondovalle Varaita e la cresta soprastante il Pian delle Serre, è caratterizzato da pendenze comprese tra i 18 e i 25 gradi. L'area, già nota per eventi franosi avvenuti in passato e ancora ben riconoscibili sul terreno, è interessata da un fenomeno di deformazione gravitativa profonda, la quale coinvolge circa 20 km² di territorio. In questo contesto si inserisce la frana di Grange Orgiera, un fenomeno complesso inquadrabile come scivolamento rotazionale con evoluzione in colamento, che coinvolge materiale detritico di varia pezzatura in abbondante matrice argillosa. Complessivamente il dissesto copre una superficie di circa 0,5 km² e presenta uno sviluppo di circa 850 m. La zona di distacco è situata ad una quota di circa 2140, mentre il fronte dell'accumulo è posizionato alla quota di 1720 m, in corrispondenza delle Grange Orgiera. Segni di attività della frana sono stati osservati a partire dalla fine del mese di giugno del 2009, ma i primi dati certi di movimenti risalgono al 7 luglio 2009. In 20 giorni, a partire da tale data, si è registrato uno spostamento del fronte tra i 60 e gli 80 metri, di cui la maggior parte tra il 15 e il 25 di luglio 2009.

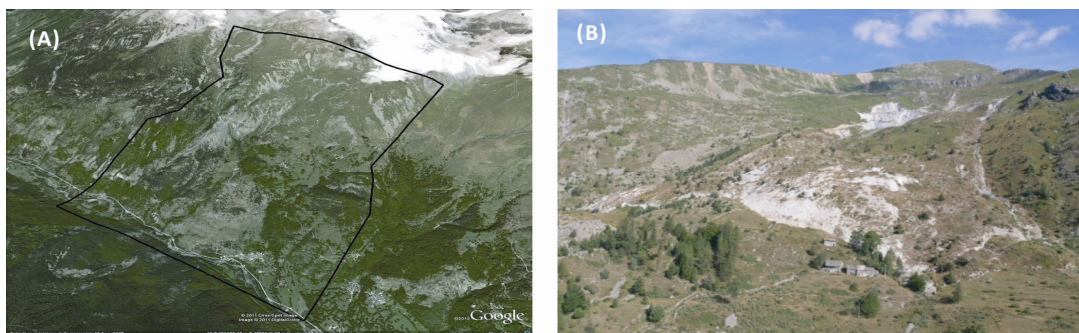


Figura 2 – (A) Vista Google Earth™ dell' area rilevata (poligono nero) e (B) dettaglio del dissesto riattivatosi nel 2009, noto come frana di Grange Orgiera, Sampeyre (CN).

Il rilievo LiDAR aereo sull'area in dissesto è stato effettuato dalla BLOM CGR in data 16 Maggio 2011. Il sensore Optech Pegasus HD 400 Laser Altimeter, montato sul velivolo Partenavia P68B, ha acquisito sull'area con una risoluzione media pari a circa 6 pt/m². L'acquisizione del dato LiDAR è stata effettuata eseguendo dieci linee di volo in direzione Est-Ovest e una cross-line in direzione Sud-Nord. I parametri per la calibrazione del sensore sono stati determinati precedentemente su un poligono ben identificato nelle vicinanze dell'Aeroporto di Parma e un ulteriore affinamento degli stessi è stato eseguito verificando la congruenza altimetrica nelle aree in comune con la cross-line e sfruttando delle misure a terra eseguite su aree di test, zone estese e piane (campi da calcio, parcheggi, ecc.) dove le variazioni altimetriche non sono significative. Durante l'acquisizione del dato laser altimetrico, un ricevitore GPS e un sistema inerziale solidale al sensore LiDAR registrano con altissima frequenza la posizione dello stesso. Questo dato è fondamentale per l'individuazione della posizione e dell'assetto angolare dell'aeromobile al momento della misura della distanza dei punti a terra. Il software usato per il calcolo della traiettoria GPS è POSGPS, contenuto nella suite Applanix™ POSPac, mentre la classificazione dei punti e la realizzazione dei modelli digitali del terreno è la suite di Terrascan™ della società Terrasolid. La classificazione dei punti viene eseguita con delle procedure semi-automatiche di filtraggio che vengono comunque ulteriormente verificate da operatori specializzati. Il DTM finale (grigliato regolare 1x1 metri), generato a partire dalla nuvola di punti classificata come “ground” o “bare earth”, è stato esportato in formato testo ASCII-GRID.

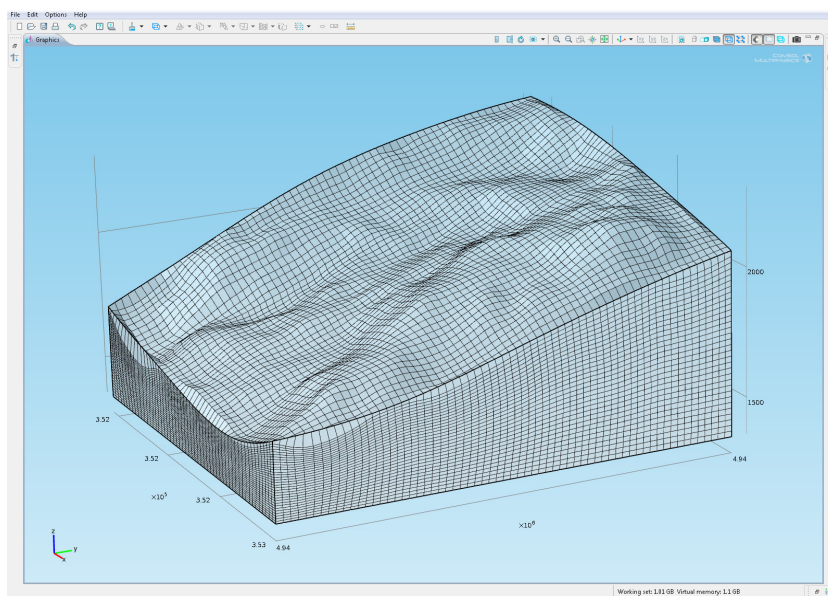


Figura 3 – Rappresentazione del modello 3D costruito a partire dal DTM della frana di Grange Orgiera. Il modello realizzato sarà utilizzato per il successivo calcolo FEM-SSR.

A questo punto il dato DTM è stato elaborato seguendo le procedure descritte precedentemente (Figura 3). In Figura 4A viene riportato il grafico risultante per il FS relativo al pendio esaminato. Per poter rendere semi-automatica la procedura e non incorrere quindi in un messaggio di errore che pregiudichi l'esportazione di un grafico riassuntivo finale deve essere scelto un criterio di arresto del calcolo su base empirica. Nel nostro caso è stato considerato il rapporto tra spostamenti massimi orizzontali e verticali misurati ad ogni iterazione sulla superficie del pendio in esame (H/V). Essendo il motore dominante del dissesto la forza di gravità, ed agendo la stessa principalmente sulla direzione verticale, un valore di $H/V > 1$ può essere considerato un indicatore di una situazione anomala che può portare al collasso. Essendo il criterio di stop fondamentale nella determinazione del valore di FS, questa parte della procedura è ancora in fase di test e in futuro verranno confrontati valori di FS calcolati considerando criteri di stop differenti.

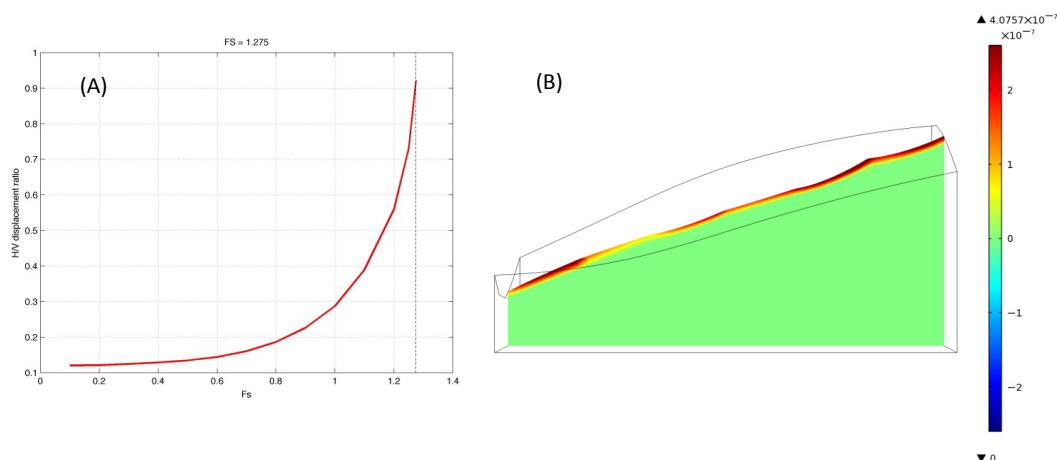


Figura 4 – (A) Risultati delle iterazioni relative al metodo SSR per il calcolo del FS
(B) Dettaglio della deformazione plastica (unità di misura strain) calcolata in una sezione caratteristica di riferimento del pendio preso in esame.

Conclusioni

In questo lavoro sono state presentate delle procedure che permettono l'implementazione in maniera semi-automatica di generare un modello meccanico tridimensionale per l'analisi della stabilità di un pendio in ambiente FEM, partendo da un DTM proveniente da una campagna LiDAR aerea. Le procedure sono state sperimentate con successo su un'area soggetta a dissesto, la frana di Grange Orgiera, Sampeyre (CN). Le procedure sviluppate nell'ambito di questo lavoro potranno essere utilizzate in futuro per lo studio, l'analisi e la comprensione dei fenomeni di dissesto in altre aree.

Ringraziamenti

Questo lavoro è stato realizzato nell'ambito del Premio ASITA "Licio Ferretti" 2010. AM ringrazia tutto lo staff BLOM CGR di Parma per la disponibilità durante il periodo di stage, in particolare M. Andreozzi, A. Bertolotti. Il dato LiDAR della frana Grange Orgiera è stato elaborato presso BLOM CGR. Si ringrazia IREA-CNR per la licenza della suite Comsol Multiphysics® release 4.1.

Riferimenti bibliografici

ARPA Regione Piemonte (2009), "La frana di Grange Orgiera nel comune di Sampeyre(CN)", *open report*.

Hammah, R.E. et al. (2006), "Investigating the performance of the shear strength reduction (SSR) method on the analysis of reinforced slopes", *Proceedings of the 59th Canadian Geotechnical and 7th Joint IAH-CNC and CGS Groundwater Specialty Conferences Sea to Sky Geotechnique, Vancouver, Canada*.

Stead, D. et al. (2001), "Advanced numerical techniques in rock slope stability- Applications and limitations", *UEF*, 615-624.

Schultz, W. et al. (2004), "Landslides mapped using LiDAR imagery, Siattle, Washington", *USGS open file report*.

Studi interferometrici sul terremoto de L'Aquila del 6 Aprile 2009

Licia Mangione (*), Fabiano Costantini (**), Maurizio Fea (***)

(*) Università di Roma "La Sapienza", Piazzale Aldo Moro 5, 00185 Roma, 3382026444, licia.mangione@gmail.com

(**) Università di Roma "Tor Vergata", Via del Politecnico, 00100 Roma, 3333021829, fabiano.costantini@gmail.com

(***) Associazione Geofisica Italiana, c/o CNR, Via dei Taurini, 19, 00185 Roma, 3281771383, maufea@gmail.com

Riassunto

L'Abruzzo è considerato "zona sismica" per il particolare sito geologico in cui si trova, vale a dire la Piattaforma Laziale-Abruzzese, tanto è vero che anche nel passato ha subito terremoti di forte intensità. La scelta di esaminare il terremoto avvenuto nell'Aprile del 2009 e, in particolare, di studiare in maniera più approfondita la zona de L'Aquila è motivata dal fatto che l'evento rappresenta un fenomeno attuale, i cui danni sono ancora subiti quotidianamente dalla popolazione. L'argomento è affrontato, sotto l'aspetto tecnico-scientifico, verificando quale sia stato l'impatto territoriale e i danni causati, ricercando le eventuali cause scatenanti del sisma e studiando le faglie sismogenetiche attive per cercare di capire se in qualche modo potessero essere collegate a terremoti passati. Dopo un approfondito studio a livello geologico, si è esaminato l'effetto del sisma con le moderne tecniche di Telerilevamento da satellite, in particolare per valutare se fosse stato possibile prevedere il terremoto stesso e di conseguenza predisporre misure preventive. A questo scopo, è stata utilizzata la tecnica dell'interferometria differenziale, con la quale, tramite la generazione di una pseudo-immagine detta interferogramma differenziale, si possono evidenziare le deformazioni del terreno causate da eventi di questo tipo. E' da sottolineare il fatto che le probabilità di identificare segnali premonitori con questa tecnica erano state considerate già a priori molto scarse; il lavoro è stato ugualmente svolto sia per avere una conferma negativa sia perché si è voluto dimostrare che questa tecnica funziona molto bene per quantificare a posteriori le deformazioni del terreno, dovute sia alla scossa principale sia alle scosse successive.

Abstract

The Abruzzo Region is considered a "seismic zone" for the special geological site on which is located, that is to say the Laziale-Abruzzese Platform, as it has suffered strong earthquakes also in the past. The choice to examine the earthquake of April 2009 and, in particular, to study more in depth the area of L'Aquila is due to the fact that the event represents a very recent phenomenon, whose damages are daily suffered by the population still today. The theme is tackled, from a technical and scientific viewpoint, by verifying its territorial impact and consequent damages, by investigating on possible triggering causes and studying active sismogenetic faults to try to understand if somehow they were linked to past earthquakes. After an in-depth geological study, the consequences of the event have been studied with the modern remote sensing techniques, in particular to evaluate if would have been possible to forecast the earthquake and consequently prepare adequate protections. To this goal, the differential interferometry technique has been used with which, through the generation of a differential interferometry pseudo-image, it is possible to identify soil deformations caused by this type of events. It is important to note that the probability of identifying early warning signals with this technique was considered a priori very low; however, the work has been done both to have a negative confirmation and to demonstrate that this technique works very well to quantify a-posteriori soil deformation caused by main shocks and by successive shocks.

Materiali e metodi

Nel caso in cui già si abbia a disposizione un modello digitale di elevazione (DEM) dell'area di studio e, quindi, si possa sottrarre il contributo di fase dovuto alla topografia, un interferogramma differenziale è il risultato di un'elaborazione di due immagini da satellite della stessa area, rilevate nella banda spettrale delle microonde e scelte con almeno due criteri fondamentali: una piccola distanza geometrica delle posizioni di osservazione del satellite tra due passaggi successivi, detta *baseline*, e una distanza temporale tra un'acquisizione e l'altra compatibile con la durata del fenomeno sotto osservazione, in questo caso un terremoto. Infatti, ad esempio, per misurare deformazioni avvenute in seguito ad eventi di origine vulcanica, essendo la deformazione piuttosto lenta, la distanza temporale necessaria tra un'acquisizione e l'altra deve essere considerevole, affinché si possa avere una percezione dello spostamento; viceversa nel caso di un terremoto la deformazione avviene in modo repentino, per cui, di norma, si utilizzano l'immagine antecedente e quella immediatamente successiva all'evento sismico preso in esame. La *baseline*, o base di presa, è data dalla distanza cui si trovano le due posizioni successive dell'antenna. Nella figura seguente si distinguono le posizioni rispettive nelle due orbite percorse dal satellite e la *baseline*, B_n (Figura 1). La distanza temporale è calcolata col ciclo delle orbite di un satellite, vale a dire dal cosiddetto tempo di rivisita, che è definito dai giorni che intercorrono tra un passaggio e l'altro del satellite sulla stessa area con la stessa geometria di osservazione.

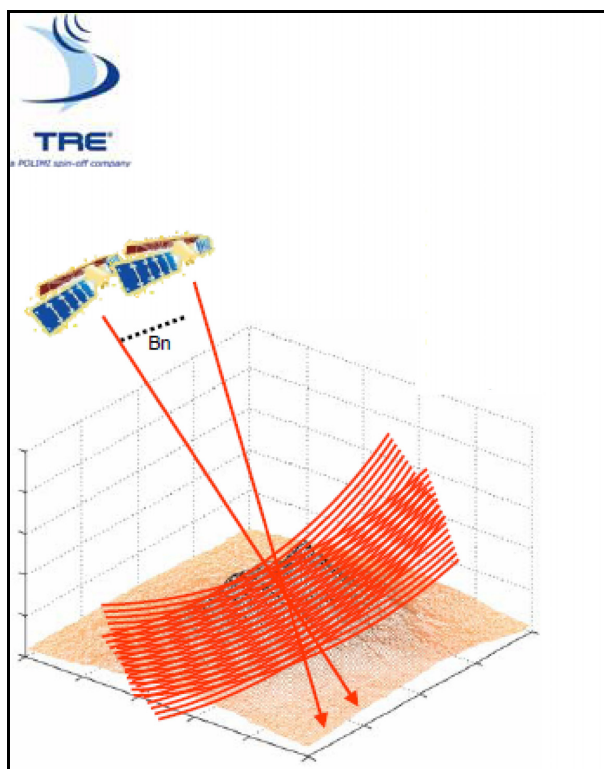


Figura 1 – Rappresentazione schematica della baseline (cortesia T.R.E., Milano).

In questo caso, sono state utilizzate immagini del satellite ambientale europeo ENVISAT, progettato, costruito e lanciato il 28 febbraio 2002 dall'Agenzia Spaziale Europea (ESA). Il satellite vola lungo un'orbita quasi-polare eliosincrona, a una quota di circa 780 km, osservando la medesima porzione del globo terrestre alla stessa ora solare locale con un periodo di 35 giorni.

Analisi ed interpretazione degli interferogrammi differenziali del terremoto del 6 Aprile 2009

Per questo lavoro è stato utilizzato il software *Doris*, sviluppato dal gruppo di osservazione della Terra dell'università tecnica di Delft (Kampes et al., 1998).

Partendo da due immagini precedentemente selezionate, denominate una *master* ed una *slave*, sono state eseguite diverse elaborazioni, ma non tutte hanno portato a buoni risultati o comunque a quelli sperati. Sono state scelte diverse coppie di immagini con una baseline piccola, ma non sempre con una distanza temporale lunga. In questo lavoro sono presentati soltanto i risultati di tre diverse coppie per mostrare le diverse soluzioni possibili. Il primo interferogramma è stato realizzato utilizzando immagini successive all'evento, al fine di verificare se fossero visibili i movimenti del terreno causati dalle scosse seguenti. La coppia utilizzata è relativa al 12 Aprile 2009 (*master*) e 17 Maggio 2009 (*slave*). Di seguito, è illustrata l'immagine di coerenza (Figura 2), ovvero di un parametro compreso tra zero, quando i retrodiffusori appaiono completamente diversi nelle due immagini, come ad esempio nel caso del mare o di fitta vegetazione, e uno, quando i retrodiffusori sono stabili nelle due immagini, come nel caso di rocce esposte, palazzi o infrastrutture, quali strade, ponti o ferrovie. La coerenza è convenzionalmente rappresentata con una scala di grigi che va dal nero, coerenza nulla, al bianco, coerenza unitaria (massima).

Questa coppia di immagini non ha prodotto frange: l'interferogramma generato (Figura 3) presenta solo rumore, detto di correlazione, dovuto alla perdita di coerenza, e non si può procedere ad alcun tipo di interpretazione. Inoltre, probabilmente, il tempo trascorso tra un'immagine e l'altra è troppo breve ed è troppo grande la *baseline*.

Un altro interferogramma è stato realizzato utilizzando come *master* l'immagine del 1 Febbraio 2009 e come *slave* l'immagine immediatamente successiva al terremoto, ossia quella del 12 Aprile 2009. In questo caso, l'immagine di coerenza (Figura 4) presenta delle zone bianche ed il risultato dell'elaborazione è un interferogramma (Figura 5) che non si presenta chiarissimo: si manifesta la presenza di rumore, distinguibile nell'immagine mediante i puntini colorati, e sono inoltre presenti delle frange colorate nel centro e in basso a destra della stessa, che approssimano delle figure semicircolari. Nel caso di interferogrammi meno rumorosi risulta possibile individuare la direzione dello spostamento e intercettare il piano di faglia.

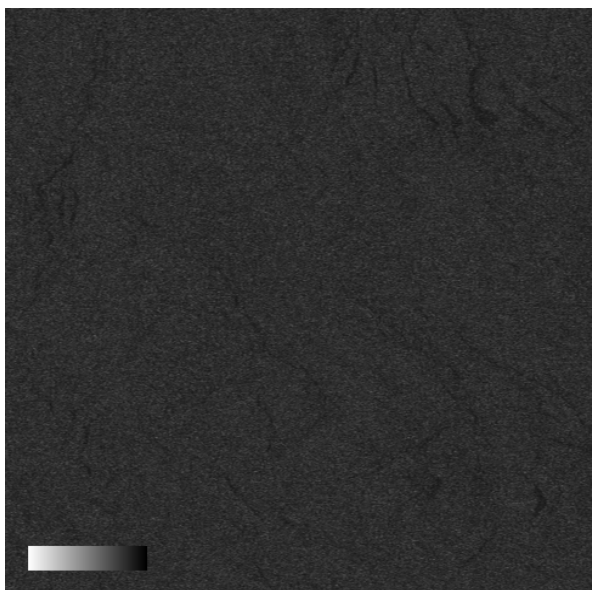


Figura 2 – Immagine di coerenza relativa alla coppia del 12 Aprile 2009 e 17 Maggio 2009.

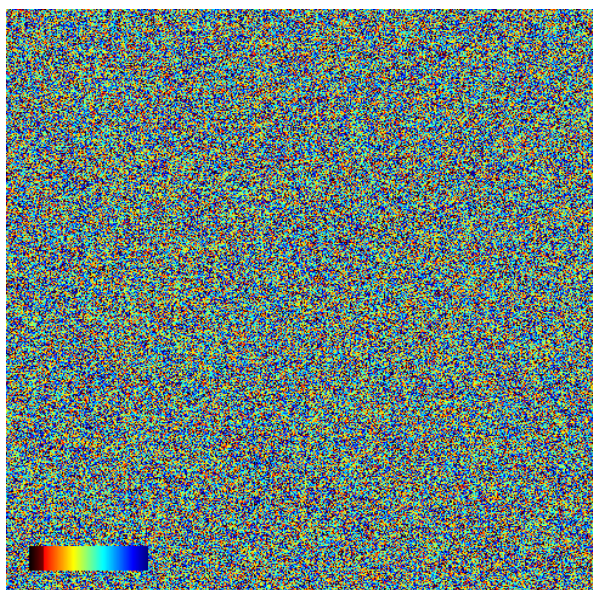


Figura 3 – Interferogramma differenziale relativo alla coppia del 12 Aprile 2009 e 17 Maggio 2009.

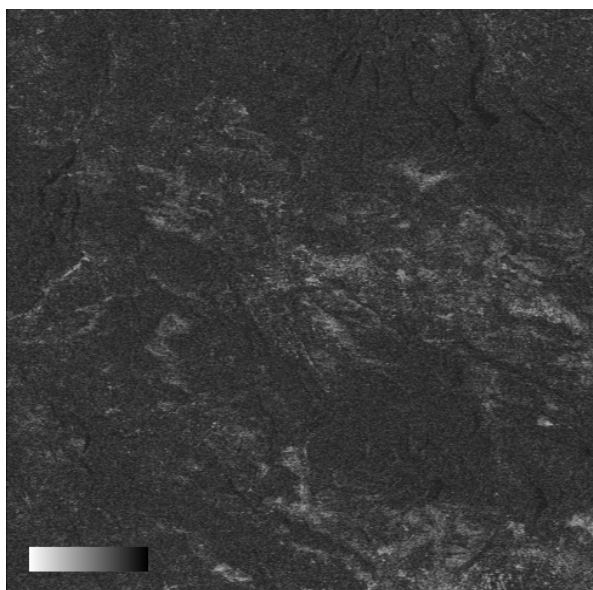


Figura 4 – Immagine di coerenza relativa alla coppia del 1Febbraio 2009 e 12 Aprile 2009.

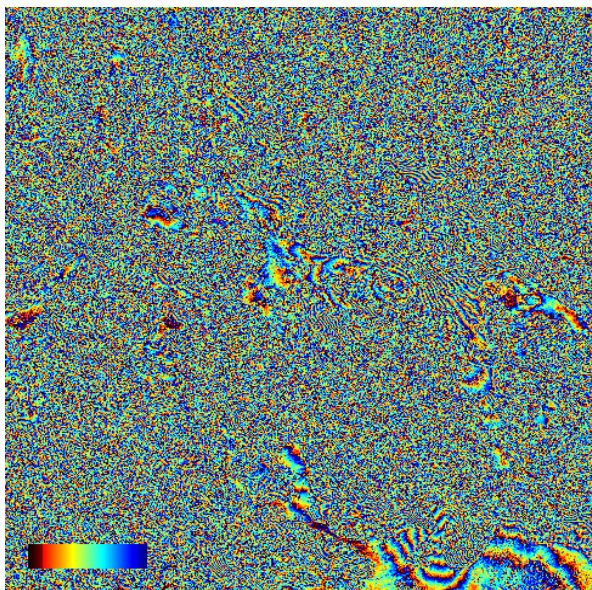


Figura 5 – Interferogramma differenziale relativo alla coppia del 1Febbraio 2009 e 12 Aprile 2009.

L'ultimo interferogramma qui presentato è stato realizzato utilizzando come *master* l'immagine del 27 Aprile 2008 (una situazione precedente di riferimento) e come *slave* l'immagine immediatamente successiva al terremoto, ossia quella del 12 Aprile 2009. Tra tutti gli interferogrammi creati, è sicuramente quello che ha prodotto il risultato più significativo: infatti, sono stati rispettati i due criteri base, vale a dire che il tempo trascorso è piuttosto lungo, poco più di un anno, e la *baseline* ha una lunghezza ottimale; anche l'immagine di coerenza presenta buoni risultati (Figura 6).

Nella figura (Figura 7) si distinguono chiaramente le frange, in tutte le località in cui si sono verificati spostamenti del terreno. Ciascuna frangia dell'interferogramma, nel caso di interferometria differenziale, corrisponde ad una deformazione pari a metà della lunghezza d'onda: essendo quest'ultima di 5,6 cm nel caso di satelliti ERS e ENVISAT, lo spostamento per ogni frangia risulta essere di 2,8 cm nella direzione di vista del radar, e ciascun pixel contiene lo spostamento (e un errore residuo dovuto all'accuratezza diversa da zero del DEM utilizzato). Nella parte centrale della figura si notano le frange con andamento circolare; ipotizziamo di dividere a metà l'ovale delle frange: i colori della parte sinistra sono messi esattamente al contrario di quelli della parte destra, indicando che lo spostamento del terreno è avvenuto verso la destra della figura.

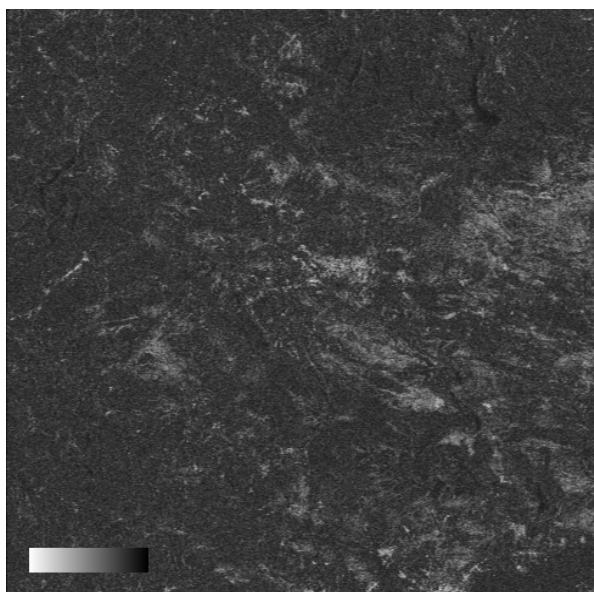


Figura 6 – Immagine di coerenza relativa alla coppia del 27 Aprile 2008 e 12 Aprile 2009.

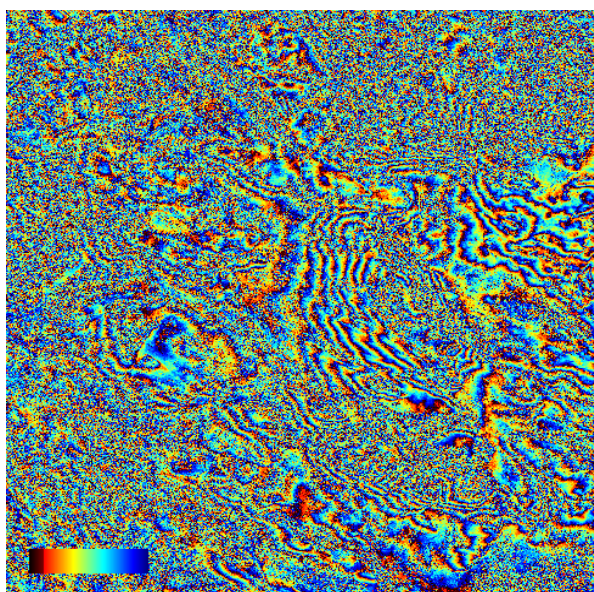


Figura 7 – Interferogramma differenziale relativo alla coppia del 27 Aprile 2008 e 12 Aprile 2009

Conclusioni

In questo lavoro si è cercato di verificare se, tramite le attuali tecniche di Telerilevamento, esista una metodologia scientifica che possa aiutare a rilevare in anticipo segnali di questa tipologia di eventi, per aprire una nuova strada di previsione o quanto meno di mitigazione del disastro. Il risultato del lavoro svolto conferma l'utilissimo potenziale dei dati acquisiti nelle microonde dai satelliti forniti di strumenti radar per l'osservazione della Terra a rilevare e quantificare movimenti verticali e deformazioni subite dal suolo in seguito ad un evento sismico, anche nel caso di deformazioni avvenute in seguito a piccole scosse, pure in caso di elevata distanza temporale. Tuttavia, lo studio effettuato ha mostrato anche un limite: la metodologia è sicuramente efficace, ma nel fornire dati post-evento. La tecnica utilizzata ed esistente al momento non risulta ancora essere un metodo utile per quanto riguarda la previsione di un fenomeno sismico, proprio perché gli unici risultati ottenibili oggi sono relativi ad evento già avvenuto.

L'analisi svolta degli eventi e dei dati e le discussioni avute nello stesso periodo su questi temi confermano una volta di più il fatto che ad oggi sta solo all'uomo adottare delle misure preventive per cercare di limitare i danni a cose e persone, nella consapevolezza che i terremoti sono ricorrenti, soprattutto nell'area di studio de L'Aquila, e che al momento non si possono fare previsioni scientificamente certe su quando, dove e come (intensità) si manifesterà un futuro sisma. Infine, è utile sottolineare che i progressi della tecnologia in generale e delle applicazioni dei dati di osservazione della Terra da satellite sono particolarmente rapidi, tanto è vero che già si utilizzano operativamente gli sviluppi dell'interferometria differenziale, nella tecnica chiamata "dei diffusori permanenti", per valutare da 800 km di quota spostamenti millimetrici verticali legati a piccoli cedimenti degli edifici, spesso segni premonitori di un possibile crollo. Pertanto, mentre si fa esperienza sui dati ottenuti dalla modernissima e recente rete dei satelliti radar italiani *Cosmo Skymed* dell'Agenzia Spaziale Italiana (ASI), nel contesto di questo lavoro si attendono nuovi ed utili risultati anche nel campo della sismologia dai dati delle future generazioni dei satelliti ambientali *Sentinel* che l'Agenzia Spaziale Europea (ESA) sta costruendo per l'Unione Europea e che saranno lanciati a partire dal 2012.

Bibliografia

- Kampes B.M., Hansen R.F., Marinkovic P.(2008), *Radar Interferometric processing with the Doris software. The Cookbook*. Delft University of Technology, 35-55
- Massonet D. (1998), *Radar interferometry and its application to change in the Earth's surface*, Centre National d'Études Spatiales, Toulouse, France, 441-493

Influenza della severità del fuoco sulle dinamiche di ricostituzione post-incendio: analisi multitemporale di immagini multispettrali

Enrico Marcolin (*), Emanuele Lingua (*), Francesco Pirotti (*), Raffaella Marzano (**)

(*) Università degli Studi di Padova, dip. TeSAF, Viale dell'Università 16, 35020 Legnaro (PD)
enrico.marcolin@unipd.it; emanuele.lingua@unipd.it; francesco.pirotti@unipd.it

(**) Università di Torino, dip. AGROSELVITER, Via L. Da Vinci 44, 10095 Grugliasco (TO)
raffaella.marzano@unito.it

Riassunto

Le modalità ed i tempi necessari per la ricostituzione dei popolamenti forestali in seguito al passaggio di un incendio dipendono principalmente dal tipo di incendio, dal comportamento del fuoco e dagli effetti che il fronte di fiamma ha causato sulla vegetazione, oltre che dalle condizioni stazionali.

La magnitudo dell'impatto prodotto dal fuoco sull'ecosistema viene definita con il termine di severità dell'incendio. La severità è una funzione dei cambiamenti fisici ed ecologici prodotti dal disturbo e può presentare un'elevata eterogeneità all'interno dell'area percorsa.

In funzione della stretta correlazione esistente tra severità e processi di ricostituzione post-incendio, la caratterizzazione della severità costituisce un elemento chiave per la definizione della necessità e delle modalità di intervento nelle aree percorse da incendio.

In fase progettuale, il supporto di un'accurata cartografia delle classi di severità dell'incendio rende più agevole la definizione di opportune attività di ricostituzione post-incendio.

L'incendio di Barcis (30/03-20/04/1997), con una superficie percorsa di 2294 ha, è annoverato tra gli incendi di maggiori dimensioni avvenuti sulle Alpi italiane. Il fuoco ha manifestato un comportamento estremamente eterogeneo, anche in relazione alla morfologia dell'area ed alle condizioni meteorologiche, determinando un complesso pattern di severità. A partire dal marzo 2000, sono stati effettuati interventi di ricostituzione attiva (localizzati in corrispondenza di zone ad elevata severità) asportando i fusti delle piante morte e realizzando piccoli impianti artificiali con specie autoctone.

Il lavoro si propone di caratterizzare la severità dell'incendio e le dinamiche di ricostituzione utilizzando una serie temporale di immagini satellitari Landsat (5 TM, 7 ETM+) di 20 anni. A tale scopo, sono stati utilizzati indicatori di severità ottenuti dai dati telerilevati (e.g. Normalized Burn Ratio - NBR) per descrivere, a scala di paesaggio, il pattern degli effetti del fuoco. E' stata quindi valutata la risposta della vegetazione (e.g. Normalized Difference Vegetation Index NDVI) all'evento perturbativo in aree soggette a differenti livelli di severità, nonché in relazione ad attività di ricostituzione attiva.

Abstract

The procedures and time required for the recovery of forest stands following the passage of a fire depend mainly on the kind of fire, its behavior and the effects of the flame front on vegetation, as well as by site conditions.

The magnitude of the impact produced by the fire on the ecosystem is defined by the term "fire severity". It is a function of physical and ecological changes produced by the disturbance and may involve a high heterogeneity within the damaged area.

The close correlation between severity and post-fire recovery processes makes severity a key element to determine means and methods of intervention in the burned areas.

In the planning phase, the support of an accurate mapping of fire severity classes makes easier the definition of appropriate post-fire recovery activities.

The Barcis wildfire (30/03-20/04/1997) was one of the largest fire events which occurred in the Italian Alps; it burned a surface of 2294 ha. The fire behavior was extremely heterogeneous, even in relation to the morphology of the area and weather conditions, resulting in a complex pattern of severity. In March 2000, active restoration activities were carried out within areas that burned with high severity removing the stems of dead plants and planting native species.

This study aims at characterizing fire severity and restoration dynamics using a time series of Landsat satellite images (5 TM, 7 ETM+) of 20 years. For this purpose, indices obtained from the remote-sensed data (e.g. Normalized Burn Ratio) were used to describe, at a landscape scale, the pattern of fire effects. A further stage was to assess vegetation response (e.g. using Normalized Difference Vegetation Index) to the disturbance event in areas with different levels of severity, and evaluate the effect of active restoration activities.

Introduzione

Incendi che percorrono grandi superfici sul territorio alpino, ancorchè piuttosto rari, si sviluppano in maniera spesso eterogenea seguendo gradienti che dipendono da numerosi fattori tra loro concomitanti. Aree con intensità di danno differenti si alternano, rendendo complessa la definizione della severità, intesa come il grado di cambiamento ecologico risultante dall'azione del fuoco sull'ecosistema (Morgan *et al.*, 2001; Lentile *et al.*, 2006; Hudak *et al.*, 2007), nonché la progettazione di interventi per l'eventuale messa in sicurezza dei versanti e per favorire le dinamiche di ricostituzione della vegetazione (Cocke *et al.*, 2005).

Numerosi sono gli studi relativi alla potenziale efficacia di dati telerilevati nell'affiancare rilevazioni di campo per la quantificazione dell'impatto prodotto dal passaggio di un incendio, soprattutto nel caso di incendi di elevata superficie (ad esempio Kasischke *et al.*, 2007; French *et al.*, 2008).

Obiettivo principale del presente lavoro è la caratterizzazione della severità all'interno di un'area percorsa da un incendio di grandi dimensioni e comportamento eterogeneo del fronte di fiamma, utilizzando indicatori dello stato della vegetazione (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI; *Normalized Burn Ratio* - NBR), ottenuti da rapporti tra bande di immagini digitali telerilevate. Tali indici sono ampiamente utilizzati per lo studio delle dinamiche della copertura vegetale, delle trasformazioni della copertura del suolo (Salvador *et al.*, 2000; Isaev *et al.*, 2002; Chafer *et al.*, 2004) e delle aree percorse da incendio (López-García, Caselles, 1991; Key, Benson, 2005; Miller, Thode, 2007). Inoltre, attraverso una serie temporale di immagini multispettrali, sono state valutate le dinamiche di ricostituzione della vegetazione negli anni successivi al disturbo, valutando la risposta della vegetazione all'evento perturbativo in aree soggette a differenti livelli di severità, nonché in relazione ad attività di ricostituzione attiva.

Area di studio

L'area oggetto dell'indagine si colloca nelle prealpi italiane di nord-est, al limite meridionale del parco delle Dolomiti friulane, sul versante soprastante l'abitato di Barcis (PN) (20°58'41.586"E 46°2'35.983"N) in val Cellina. L'incendio è iniziato il 30/03/1997, ha percorso il versante esposto a Sud della val Cellina da Est a Ovest, e ha interessato una superficie di circa 2294 ha, prevalentemente boscati, ad una quota compresa fra 450 e 1550 m s.l.m. (fonte: Ispettorato ripartimentale delle foreste di Pordenone – Regione Friuli Venezia Giulia). Il fuoco ha manifestato un comportamento estremamente eterogeneo, anche in relazione alla complessa morfologia dell'area ed alle condizioni meteorologiche, caratterizzate dal perdurare di un forte vento per diversi giorni, determinando un complesso pattern di severità. L'intervento di estinzione dei numerosi fronti di fiamma e le operazioni di bonifica sono terminate il 20/04/1997.

Materiali e metodi

Per l'analisi multitemporale sono state utilizzate una serie di immagini multispettrali telerilevate dal satellite Landsat 4 e 5 sensore Thematic Mapper (TM) e dal Landsat 7 sensore Enhanced Thematic Mapper (ETM+). Le immagini sono state ottenute mediante una ricerca nel database di U.S. Geological Survey (USGS) tramite la piattaforma web *Earthexplorer*. E' stato possibile recuperare le prese di immagini degli anni 1991, 1993, 1994, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2006, 2007, 2009, 2010 (vedi tabella 1). Tutte le immagini utilizzate sono di livello "1T", ovvero sono state radiometricamente e geometricamente corrette mediante utilizzo di punti di controllo a terra (*Ground Control Points* – GCP), modelli digitali del terreno per migliorare la rispettiva accuratezza e per correggere gli errori di parallasse. Dal database sopracitato, sono state scelte immagini acquisite in piena stagione vegetativa e con copertura nuvolosa praticamente nulla nell'area di interesse ed immediati dintorni. Per poter confrontare correttamente le immagini è stato necessario apportare preventivamente una normalizzazione radiometrica basata sull'uso di strutture pseudo invarianti (*Pseudo Invariant Features* – PIF) (Hall *et al.*, 1991; Hill, Sturm, 1991; Altobelli *et al.*, 2005).

Data acquisizione	Landsat Tipo	Path/Row
23-lug-91	4-TM	191/028
05-ago-93	5-TM	191/028
23-lug-94	5-TM	191/028
15-set-99	7-ETM+	191/028
23-ago-00	7-ETM+	192/028
26-ago-01	7-ETM+	192/028
28-lug-02	7-ETM+	192/028
17-ago-03	5-TM	191/028
01-set-06	5-TM	192/028
18-lug-07	5-TM	192/028
17-ago-09	5-TM	191/028
03-lug-10	5-TM	191/028

Figura 1 – Riferimenti cronologici e tipi di immagini spettrali utilizzate.

Ad ulteriore supporto dell'analisi sono state utilizzate delle ortofoto digitali (2007) con una risoluzione media di 50 cm per lato pixel a nadir, una cartografia digitale dell'uso del suolo e dei tipi forestali della Regione Friuli-Venezia Giulia.

La prima fase dello studio è costituita dall'analisi delle immagini multispettrali più prossime cronologicamente all'evento (occorso nella primavera 1997) fra quelle disponibili. Gli anni *pre-fire* e *post-fire* più vicini sono rispettivamente il 1994 ed il 1999: da entrambi sono stati calcolati gli indici NDVI (1) e NBR (2). In seguito si è ricavato un ΔNBR (3) per verificare variazioni dell'indice prima e dopo l'evento (Key, Benson, 2003). Parimenti si è proceduto al calcolo di $\Delta NDVI$ (4) al fine di determinare il corrispondente decremento dell'indice, nelle aree identificate e classificate a diversa severità.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad [1]$$

$$NBR = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \quad [2]$$

$$\Delta NBR = NBR_{pre} - NBR_{post} \quad [3]$$

$$\Delta NDVI = NDVI_{pre} - NDVI_{post} \quad [4]$$

dove: NIR = banda infrarosso vicino (*Near Infrared*), RED = banda del rosso, SWIR = banda dell'infrarosso vicino/onda corta (*Short Wave InfraRed*). Le tre bande si riferiscono rispettivamente alle bande 4, 3 e 7 dei sensori TM ed ETM+.

Le classi di severità sono state definite mediante suddivisione dell'istogramma delle frequenze dei valori risultanti dal calcolo dell'indice Δ NBR suddiviso in classi di ampiezza pari alla deviazione standard. Ne risulta una classificazione di severità dell'evento secondo le seguenti categorie:

0 - Nulla 1 - Bassa 2- Moderata 3-Alta

In una porzione marginale della carta delle severità, vi è l'effetto della copertura nuvolosa residua: agli effetti dello studio, tali zone sono state ignorate, così come i valori *Nodata* e spuri - estremi positivi e negativi (ovvero sono state tagliate le code dell'istogramma).

Incrociando la carta della severità dell'incendio così ottenuta con i dati relativi all'uso e alla copertura del suolo, sono state individuate le categorie forestali maggiormente interessate dall'evento.

La fase successiva ha previsto l'analisi delle dinamiche di ricostituzione attraverso il calcolo di NDVI e l'analisi della sua variabilità seguendo una crono-sequenza di immagini multispettrali successive all'incendio (1999-2010). A tale scopo, dalle cartografie elaborate nelle fasi precedenti, si sono preliminarmente definite delle aree caratteristiche per omogeneità del danno, dell'uso del suolo e del tipo forestale. Tali aree sono state scelte secondo i seguenti criteri (i numeri fanno riferimento alla tabella in figura 2):

- (1) e (2) aree ad alta severità ricadenti nella medesima categoria (tipo forestale pineta di pino nero e silvestre) in cui sono stati effettuati interventi di ricostituzione attiva
- (3) e (4) aree a bassa severità in aree già percorse da incendi in precedenza
- (5) e (6) aree controllo situate al di fuori del zona interessata dal fuoco ricadenti nella medesima categoria (tipo forestale pineta di pino nero e silvestre).
- (7) e (8) aree ad alta severità ricadenti nella medesima categoria (tipo forestale pineta di pino nero e silvestre) in cui nessun intervento è stato effettuato; fungono da controllo rispetto alle zone (1) e (2).

In queste aree sono stati calcolati i valori statistici dell'indice NDVI negli anni (media e coefficiente di variazione - CV) e successivamente posti in un diagramma temporale per confrontare il trend e la variabilità secondo coppie di aree affini.

Zona	N pixels	Superficie (ha)
1	56	5.0
2	175	15.8
3	103	9.3
4	217	19.5
5	130	11.7
6	194	17.5
7	84	7.56
8	165	14.85

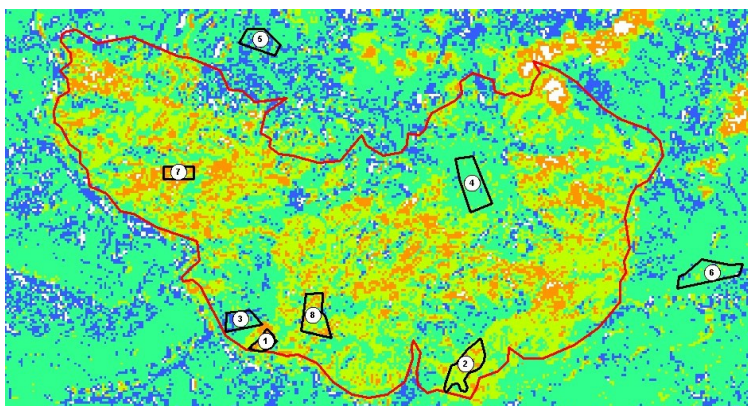


Figura 2 – In evidenza le aree prescelte per l'analisi spazio-temporale dell'indice NDVI.

Risultati

I *layers* costruiti con le elaborazioni degli indici di vegetazione sono stati confrontati con le cartografie prodotte sulla base dei rilievi a terra realizzati subito dopo l'evento dal Servizio Forestale Regionale.

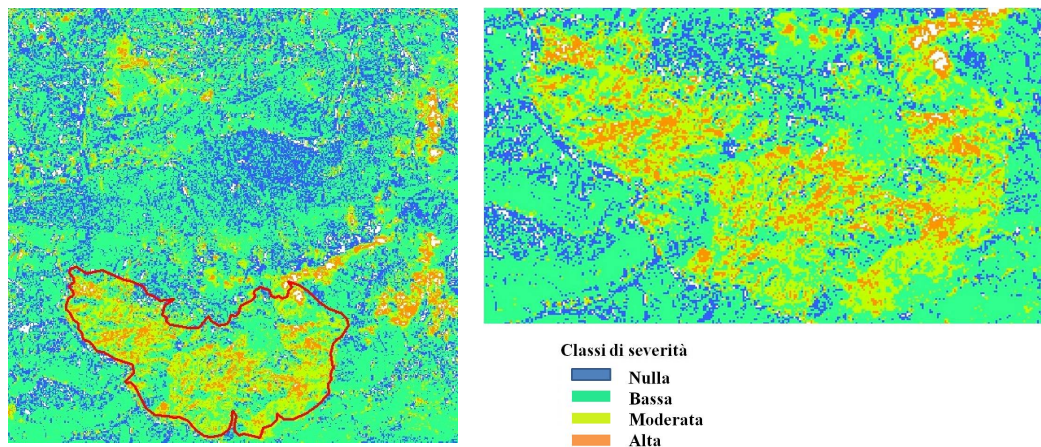


Figura 3 – Carta delle classi di severità estratte dai valori di ΔNBR ; a sinistra: sovrapposizione con il perimetro determinato da rilievi a terra (in rosso); a destra: particolare dell'area.

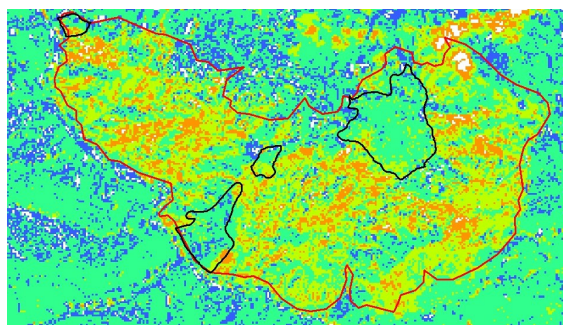


Figura 4 – Carta della severità con evidenziate in nero zone identificate come "aree già percorse da incendi".

E' stato definito il perimetro dell'area percorsa (figure 3 e 4) ed identificate le superfici interessate dall'evento per ciascuna categoria di uso del suolo.

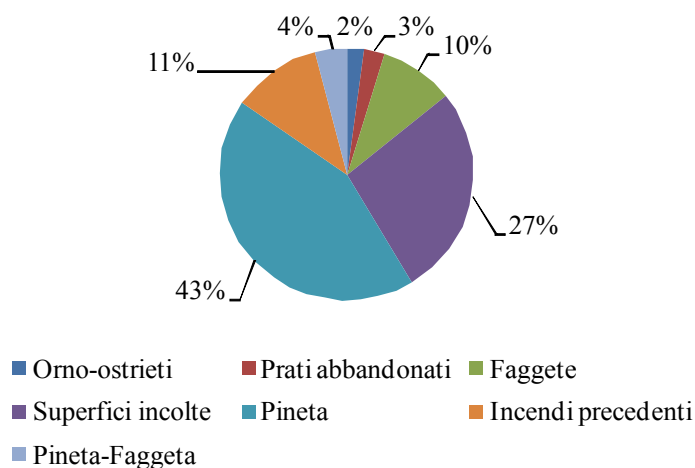


Figura 5 – Percentuale della superficie percorsa da incendio in relazione alle categorie di uso del suolo.

Circa la metà della superficie percorsa dall'incendio ha interessato pinete o pinete-faggete (figura 5), una parte rilevante riguarda aree incolte e improduttive, mentre marginale è l'estensione dell'evento in faggete (peraltro poco presenti nel versante della valle interessato dall'incendio). Quanto a severità dell'incendio, la categoria pineta (unitamente a pineta-faggeta) risulta la formazione forestale con valori medi di ΔNBR fra i più alti (media dei valori puntuali di ΔNBR nella superficie di categoria), mentre le aree cosiddette "già percorse da incendio" rientrano prevalentemente nella classe a bassa severità (figura 6).

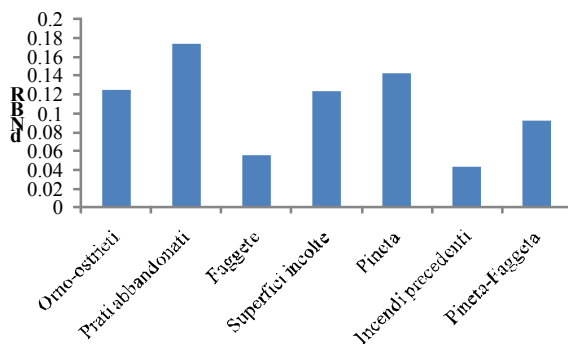


Figura 6 – Medie dell'indice derivato ΔNBR per categoria di copertura del suolo.

Dall'analisi della serie temporale dei valori di NDVI nelle aree (1), (2), (7), (8) in cui la severità dell'incendio è risultata elevata, il decremento dei valori tra prima e dopo l'evento (1997) risulta evidente ($\Delta NDVI$ compreso tra 0,23 e 0,29), ma il ritorno ai valori di NDVI antecedenti l'incendio si realizza nell'anno 2003, sei anni dopo l'evento. Al decremento di NDVI si accompagna un sensibile aumento della variabilità dell'indice negli anni subito successivi all'evento, probabilmente causata dall'eterogenea distribuzione nello spazio della residua vegetazione e di quella re-insediatasi.

Per quanto riguarda il confronto fra le zone in cui si sono effettuati interventi di ricostituzione attiva (1), (2) e quelle in cui non si è effettuato alcun intervento (7), (8) non si sono evidenziate particolari differenze successivamente a tali interventi (effettuati nell'anno 2000) nel "trend di recupero" del valore di NDVI, né riguardo alla sua variabilità.

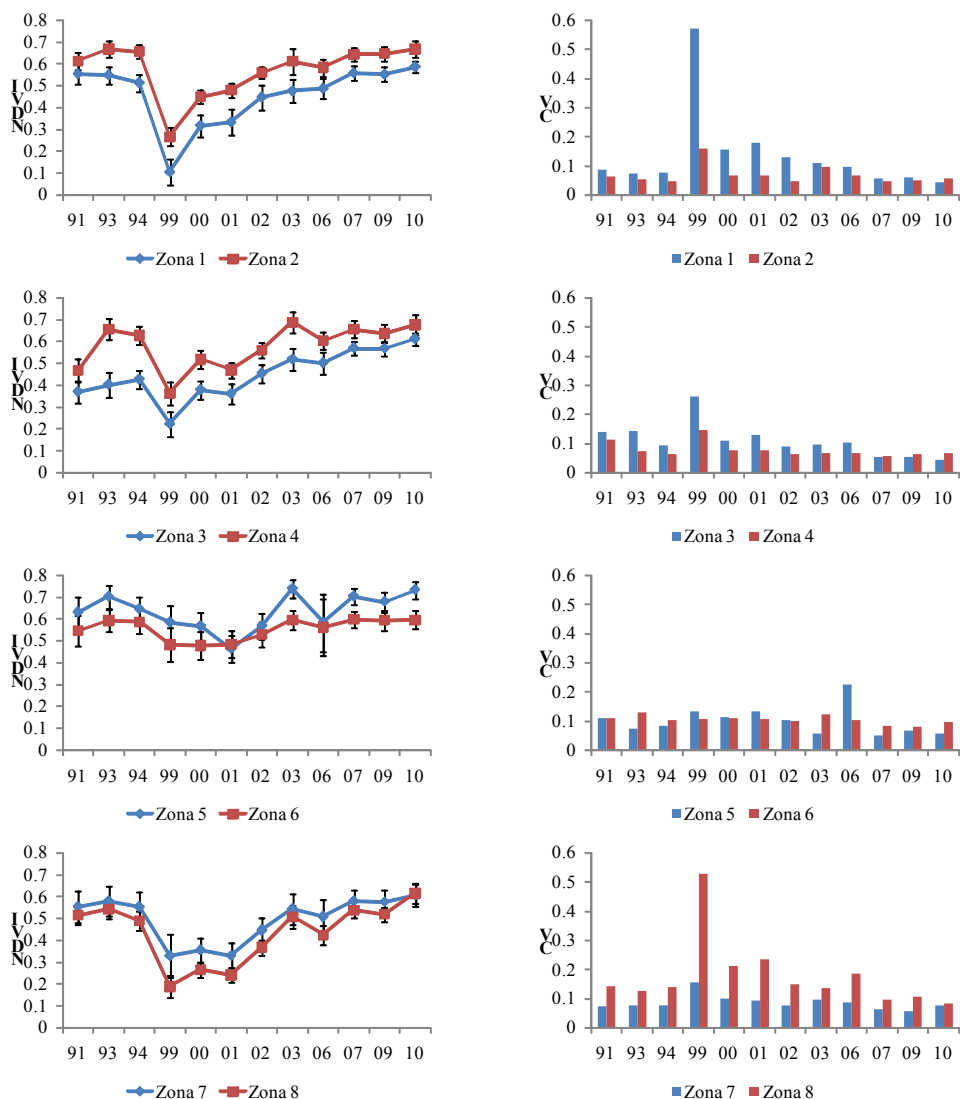


Figura 7 – Colonna a sinistra: evoluzione della media dell'indice NDVI per ciascuna Zona (come indicato in figura 2); colonna a destra: Coefficiente di Variazione del valore di NDVI nella rispettiva zona. Si noti come nelle fasi successive all'incendio(dopo il '97), le zone interessate presentino un forte decremento di NDVI e, al contempo, aumenta la variabilità in maniera evidente.

Le zone (3) e (4), selezionate in aree che prima del 1997 erano già state percorse da incendi, presentano in concomitanza dell'evento oggetto di studio un decremento di NDVI, seppur di ampiezza poco apprezzabile (ΔNDVI pari a 0,15), anch'esso con un significativo aumento dei valori del Coefficiente di Variazione.

Infine, le zone (5) e (6), ricadenti al di fuori del perimetro dell'incendio, non presentano significative variazioni degli indici in corrispondenza dell'anno 1997.

Discussione

Sull'arco alpino italiano le informazioni relative alle modalità e alle tempistiche di insediamento e di sviluppo della rinnovazione naturale dopo il passaggio di incendi sono ancora incomplete e frammentarie, anche perché le foreste interessate da tali incendi vengono spesso sottoposte alle tradizionali pratiche di gestione forestali che prevedono taglio e rimozione degli alberi morti o danneggiati.

La severità dell'incendio è strettamente correlata ai cambiamenti di tipo fisico, chimico e biologico che avvengono in un ecosistema dopo il passaggio del fuoco (White *et al.*, 1996) con effetti sulla vegetazione tra i più variabili: la rinnovazione può insediarsi seguendo strategie diverse (per seme, agamica) ciò implica anche tempi di ricostituzione differenti (più rapida la risposta della rinnovazione di specie con capacità pollonifera, mentre la rinnovazione gamica necessita per l'insediamento di condizioni stazionali che non sempre sono favorevoli nelle fasi successive all'incendio). Definire classi di severità, perciò, consente di dare indicazioni sul tipo di cambiamenti in atto e sui probabili scenari riguardo alle dinamiche di ricostituzione della vegetazione. A tal uopo, soprattutto in incendi su larga scala, tecniche di indagine con utilizzo di dati tele rilevati hanno dimostrato in studi precedenti di essere adeguate per il monitoraggio dei tempi di insediamento e della disposizione della rinnovazione nello spazio (Delgado, Pons, 2001), oltre che per determinare la severità dell'incendio (Caetano *et al.*, 1996; White *et al.*, 1996).

Accertata l'interazione fra severità dell'incendio e processi di ricostituzione, basandosi sulle indicazioni fornite dalla carta delle severità, sarà possibile definire le più opportune scelte gestionali.

Nella prima fase di questo studio si è verificata l'efficienza dell'indice NBR e del derivato ΔNBR nell'identificare l'area interessata dall'incendio, con la precisione consentita dalla risoluzione spaziale del dato Landsat: il perimetro della superficie percorsa risulta del tutto corrispondente a quanto determinato dai rilievi a terra effettuati nelle fasi immediatamente successive all'incendio. Inoltre, si sono definite delle classi di severità dell'evento sulla base dell'indice medesimo (NBR), ricavandone una cartografia che descrive nello spazio gli effetti quali-quantitativi dell'incendio: in media le categorie forestali coinvolte risultano aver subito danni moderati (pineta, pineta-faggeta, orno-ostrieti) seppur con punte di elevata severità localizzate nello spazio in pochi ed isolati tratti.

La severità dell'incendio determina il danno, influenza la mortalità della vegetazione interessata, i tempi di re-insediamento della rinnovazione (Diaz-Delgado *et al.*, 2003); inoltre, quando eventi perturbatori agiscono su vaste superfici si rendono necessarie valutazioni che riguardano la stabilità idro-geologica dei versanti (e.g. erosione del suolo). Nel caso specifico dell'area di studio, l'evento ha interessato quasi per intero delle formazioni forestali con funzione di regimazione delle acque di deflusso e protettiva nei riguardi degli abitati e delle infrastrutture viarie di fondovalle: importante determinare i tempi di re-insediamento della vegetazione come elemento informativo a supporto delle scelte gestionali. Considerando la forte correlazione fra l'indice NDVI e l'attività fotosintetica della vegetazione, l'analisi dell'evoluzione temporale di NDVI nelle zone selezionate ha evidenziato un recupero ai valori antecedenti l'incendio quantificabile in 6-7 anni, anche in aree in cui la severità è risultata elevata: tale dinamica pare essere compatibile con il riscoppio di polloni dalle ceppaie degli individui sopravvissuti appartenenti a specie con forte capacità pollonifera che, stimolati dall'incendio alla produzione di nuovi polloni, hanno, al contempo, trovato le condizioni più favorevoli venendo meno la competizione per le risorse degli individui morti in seguito al

passaggio del fuoco. Per la messa in sicurezza del versante, con lo scopo di favorire una rapida ricostituzione della vegetazione arborea, sono stati effettuati degli interventi mirati in alcune zone soprastanti i centri abitati. Nel confronto fra zone interessate dagli interventi di ricostituzione attiva e zone scelte come controllo in cui non si sono effettuati interventi, le sequenze temporali di NDVI e della sua variabilità non hanno dato informazioni sufficienti ad indicare un effetto significativo degli interventi sui tempi di recupero della vegetazione, a conferma di quanto già evidenziato da indagini precedentemente condotte in ambienti simili a quello studiato (Beghin *et al.*, 2010; Marzano *et al.*, 2010).

Riferimenti bibliografici

- Altobelli A, Bressan E, Napoletano R, (2005), "Analisi dei cambiamenti di un'area ad elevato interesse naturalistico: Bordano, il paese delle farfalle", *The Geomatics Workbooks*, Vol. 5. [online] URL: <http://geomatica.com.polimi.it/workbooks>.
- Beghin R, Lingua E, Garbarino M, Lonati M, Bovio G, Motta R, Marzano R. (2010), "*Pinus sylvestris* forest regeneration under different post-fire restoration practices in the northwestern Italian Alps", *Ecological Engineering*, 36, 1365-1372
- Caetano MS, Mertes LAK, Cadete L, Pereira JMC, (1996), "Assesment of AVHRR data for characterizing burned areas and post-fire vegetation recovery", *EARSel Advances in Remote Sensing*, 4: 124-134.
- Chafer CJ, Noonan M, Macnaught E (2004), "The post-fire measurement of fire severity and intensity in the Christmas 2001 Sydney wildfires", *International Journal of Wildland Fire*, 13: 227–240.
- Cocke AE, Fulé PZ, Crouse JE. (2005), "Comparison of burn severity assessments using Differenced Normalized Burn Ratio and ground data", *International Journal of Wildland Fire*, 14: 189–198.
- Díaz-Delgado R, Pons X, (2001), "Spatial patterns of forestfires in Catalonia (NE Spain) along the period 1975-1995. Analysis of vegetation recovery after fire", *Forest Ecology and Management*, 147: 67-74.
- Díaz-Delgado R, Lloret F, Pons X, (2003), "Influence of fire severity on plant regeneration by means of remote sensing imagery", *International Journal of Remote Sensing* Vol.24, Iss.8: 1751-1763.
- French N, Kasischke E, Hall R, Murphy K, Verbyla D, Hoy E, Allen J (2008), "Using Landsat data to assess fire and burn severity in the North American boreal forest region: an overview and summary of results", *International Journal of Wildland Fire* 17: 443–462.
- Hall GG., Strebel DE., Nickeson JE e Goetz SJ, (1991), "Radiometric rectification: toward a common radiometric response among multirate, multisensor images", *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 35: 11-27.
- Hill J. e Sturm B., (1991), "Radiometric correction of multitemporal Thematic Mapper data for use in agricultural land-cover classification and vegetation monitoring", *International Journal of Remote Sensing*, 12 (7): 1471-1491.
- Hudak AT, Morgan P, Bobbitt MJ, Smith AMS, Lewis SA, Lentile LB, Robichaud PR, Clark JT, McKinley RA (2007), "The relationship of multispectral satellite imagery to immediate fire effects", *Journal of Fire Ecology*, 3: 64–90.
- Isaev A, Korovin G, Bartalev S, Ershov D, Janetos A, Kasischke E, Shugart H, French N, Orlick B, Murphy T, (2002), "Using remote sensing to assess Russian forest fire carbon emissions", *Climatic Change* 55: 235–249.
- Kasischke E, Hoy E, French N, Turetsky M (2007), "Post-fire evaluation of the effects of fire on the environment using remotely sensed data.", *Proceedings of the 6th international workshop of the EARSel special interest group on forest fires. Advance in remote sensing and GIS applications in forest fire management. Towards an operational use of remote sensing in forest fire management*, 27-29 September 2007, Thessaloniki, Greece : 34-52.

- Key C, Benson N, (2003), "Remote sensing measure of severity, the normalized burn ratio", *Fire effects monitoring and inventory protocol*, Landscape Assessment Systems for Environmental Management and USDA Fire Sciences Laboratory, Rocky Mountain Research Station, [online] URL: <http://www.fire.org/firemon/lc.htm>.
- Key C, Benson N, (2005), "Landscape assessment: ground measure of severity; the Composite Burn Index, and remote sensing of severity, the Normalized Burn Index. In 'FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System'", *USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station, General Technical Report RMRS-GTR-164-CD LA*: 1–51.
- Lentile LB, Holden ZA, Smith AMS, Falkowski MJ, Hudak AT, Morgan P, Lewis SA, Gessler PE , Benson NC. (2006), "Remote sensing techniques to assess active fire characteristics and post-fire effects", *International Journal of Wildland Fire*, 15: 319–345
- López García M, Caselles V. (1991), "Mapping burns and natural reforestation using Thematic Mapper data", *Geocarto International*, 6: 31–37
- Marzano R, Garbarino M, Beghin R, Lonati M, Bovio G, Motta R, Lingua E. (2010), "Are current post-fire management practices delaying natural regeneration in *Pinus sylvestris* mountain forests of the Aosta Valley (NW Italy)?" in *Proceedings of the VI International Conference on Forest Fire Research*, Coimbra 15-18 November 2010, D. X. Viegas (ed.).
- Miller J, Thode A. (2007), "Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR)", *Remote Sensing of Environment*, 109: 66–80
- Morgan P, Hardy CC, Swetnam TW, Rollins MG, Long DG. (2001), " Mapping fire regimes across time and space: Understanding coarse and fine-scale fire patterns", *International Journal of Wildland Fire*, 10: 329–342.
- Salvador R, Valeriano J, Pons X, Diaz-Delgado R. (2000), "A semiautomatic methodology to detect fire scars in shrubs and evergreen forests with Landsat MSS time series", *International Journal of Remote Sensing*, 21: 655–671.
- USGS - U.S. Geological Survey , [online] URL: earthexplorer.usgs.gov
- White JD, Ryan KC, Running SW. (1996), "Remote sensing of forest fire severity and vegetation recovery", *International Journal of Wildland Fire*, 6:125-136.

Analisi morfometrica del DTM e definizione di unità di paesaggio finalizzate alla realizzazione delle tipologie di suolo e delle unità cartografiche del bacino del fiume Ombrone (Regione Toscana)

Mari Riccardo (*), Gardin Lorenzo (**), Nevini Roberto (**), Callegari Ivan (***),
Perna Massimo (*), Manetti Francesco (*), Lavorini Guido (****), Nevini Iacopo (**),
Arcidiaco Maria (***), Bianconi Nadia (***), Ortolano Fabrizio (***)

(*) Consorzio LAMMA, Via Madonna del Piano n.10 Edificio D, Piano Primo
50019 Sesto Fiorentino (FI), Italy, Tel. 055448301, Tel. +39 055 44 830.1

(**) Private consultant

(***) Centro di GeoTecnologie, Università degli Studi di Siena Via Vetri Vecchi, 34
52027 San Giovanni Valdarno (AR), Italy, Tel. 055 911 9400, Fax +39 055-9119439

(****) Regione Toscana, Sistema Informativo Territoriale e Ambientale, P.O. Geologia e BD Geotematiche

Riassunto

Per paesaggio si intende quell'insieme di caratteristiche del territorio che distinguono una certa area di superficie terrestre da un'altra, e che tali caratteristiche sono il risultato non solo di forze naturali ma anche dell'azione dell'uomo. E' largamente condiviso come esista una stretta corrispondenza fra determinati paesaggi e i suoli presenti su di essi.

La metodologia per realizzare una copertura continua di unità di pedopaesaggio (cioè zone con suoli che hanno avuto la stessa formazione e che presentano simili caratteri morfologici) per tutto il bacino del fiume Ombrone, si è basata su tecniche moderne basate su elaborazioni GIS e su banche dati georeferenziate. Non essendo possibile realizzare un'analisi territoriale di dettaglio in modo continuo su tutto il bacino del fiume Ombrone, per motivi di costi e di tempi, si è preferito procedere per aree campione rappresentative della variabilità del territorio in esame.

Per la creazione di Unità di Paesaggio coerenti a quelle identificate nelle aree campione, sono state messe a punto delle tecniche di "classificazione automatica" e "classificazione semi-automatica" del territorio, che si basano in estrema sintesi sull'analisi di indici morfometrici derivati dal DEM, quali la pendenza, l'esposizione, la curvatura longitudinale ed orizzontale (concavità e convessità), la lunghezza dei versanti, la dimensione e la densità e il pattern di drenaggio. Queste tecniche hanno preso spunto da metodologie elaborate da vari autori (Hengl, T. and Rossiter, D.G., 2003; MacMillan et al., 1997).

L'estrazione delle forme del terreno è stata eseguita su alcune aree campione scelte in modo da riflettere sia la variabilità morfometrica sia quella dell'informazione pedologica presente all'interno del bacino del fiume Ombrone, al fine di testare il più possibile l'attendibilità delle tecniche di classificazione sia automatiche sia semiautomatiche utilizzate.

Abstract

With landscape we mean that set of environmental characteristics that distinguish a specific earth's surface area from another, and that these characteristics are the result of both natural and human activity.

It is widely recognized that there is a strict relationship between landscapes and their soils.

Methodology to realize a complete coverage of pedo-landscapes units (that is landscape units having same formation soils and similar morphological characters) all over Ombrone river's basin, was based on modern techniques of GIS processing using georeferenced datasets. Because of cost and time, it was not possible to lead a detailed analysis of the entire Ombrone river basin, so it was

decided to choose sample areas which could represent the variability of the study area. In order to create Landscape Units coherent with the ones identified in sample areas, “automatic” and “semi-automatic” classification techniques were developed, based, in a nutshell, on DEM derived morphometric indexes analysis. Such indexes as slope, aspect, horizontal and vertical curvature (concavity and convexity of slope), slope length, hydrographic drainage network dimension, density and pattern were considered. These techniques have been inspired by methodologies developed by various authors (Hengl, T. and Rossiter, D.G., 2003; MacMillan et al., 1997).

Landform extraction was realized on specific sample areas able to represent morphometric and pedologic variability in Ombrone river basin, in order to verify both automatic and semi-automatic classification techniques used.

Materiali e Metodi

Le banche dati territoriali georeferenziate disponibili per il Bacino dell’Ombrone inerenti ai fattori della pedogenesi sono state utilizzate per lo studio dei caratteri ambientali e per le successive fasi di stratificazione del territorio.

In particolare sono state utilizzate: la carta geologica regionale in scala 1:10.000, sia in formato vettoriale sia in formato raster georeferenziato al fine di utilizzare anche elementi preziosi come gli affioramenti non riportati in vettoriale; la carta dell’uso del suolo proveniente da recenti realizzazioni dettagliate; la carta della vegetazione forestale potenziale derivata dall’inventario forestale regionale; elaborazioni di scala regionale inerenti il clima realizzate dal Lamma nel corso del Progetto DesertNet; le Ortofoto del 2006, il DEM con passo 10 m e i suoi indici derivati; per la parte pedologica si è fatto uso dei cataloghi relativi al Progetto Carta pedologica della Regione Toscana in scala 1:250.000; sono stati anche consultati gli studi pedologici di dettaglio realizzati nel Bacino dell’Ombrone nel corso degli ultimi anni.

In accordo con quanto descritto e proposto nel “Progetto Pedologia” del Servizio Geologico della Regione Toscana, sono state realizzate le Unità di paesaggio (UDP) all’interno di aree campione selezionate per la loro significatività nel bacino idrografico dell’Ombrone. La scelta di tali aree ha previsto un’analisi molto accurata dei Sistemi di terre, contenitori pedopaesaggistici di livello superiore, al fine di selezionare porzioni di territorio che comprendessero la maggior variabilità litologica e pedologica. I Sistemi di terre possono essere considerati come ambienti caratterizzati da una peculiare combinazione di fattori fisici (litologia, clima, processi morfogenetici, vegetazionali, di uso del suolo ed antropici), che hanno condizionato sia la formazione e le proprietà dei suoli, sia l’aspetto del paesaggio. Per tale motivo essi sono stati utilizzati sia come contenitore sintetico di informazioni sui suoli e sul paesaggio, sia come strumento per il trasferimento di informazioni pedologiche.

Riteniamo importante per la comprensione dell’articolo fornire qui di seguito una serie di definizioni:

Soil Region (SR): livello di pedopaesaggio di più alta generalizzazione (scala nazionale ed europea) definito dal clima e dalla litologia.

Sistema: è una suddivisione della Soil Region; il Sistema è un contenitore di pedopaesaggi di livello intermedio (scala nazionale e regionale), definito da paesaggi geografici caratterizzati dalla litologia, dalla morfologia e dall’uso del suolo.

Sottosistema: livello di paesaggio al quale sono associate le informazioni pedologiche nella carta dei suoli in scala 1:250.000 (scala regionale); sono definiti da litologia e secondariamente da morfologia e uso del suolo.

Unità cartografica (UC): descrive un modello di distribuzione dei suoli tipico e ricorrente per ciascun tipo di sottosistema di paesaggio; è caratterizzato da una sigla univoca nella quale sono concatenate le sigle delle tipologie pedologiche principali in essa presenti (es. PON1_MRS1_PGG1 è l’unità cartografica al cui interno sono prevalenti i suoli PON1 Pontepetri, MRS1 Maresca e PGG1 Poggio di petto).

Unità di paesaggio (udp): livello paesaggistico di semidettaglio (rappresentabile alla scala 1:25.000 – 1:50.000). Nella carta dei suoli 1:250.000 non sono rappresentati graficamente ma talvolta sono esplicitate nelle descrizioni delle unità cartografiche e nelle descrizioni delle tipologie pedologiche. Le unità di paesaggio sono porzioni di territorio all'interno delle quali i principali fattori della pedogenesi sono generalmente costanti (litologia, fisiografia, uso del suolo) e si può nella maggior parte dei casi ragionevolmente ipotizzare la presenza di un suolo dominante e di altri secondari.

Area campione: è una porzione di una unità cartografica del Livello 1, all'interno della quale vengono individuate e delimitate le unità di paesaggio di scala maggiore, mediante fotointerpretazione. Per ognuna di esse si caratterizzano i suoli presenti mediante rilevamento pedologico.

Nell'individuazione delle unità cartografiche ove ubicare le aree campione è stato importante considerare la loro ampiezza per sceglierne eventualmente alcune porzioni o tutte intere se fossero di piccole dimensioni. Indicativamente l'ampiezza di un area campione è stata intorno a 1.000-2.500 ettari; con tale ampiezza il rilevamento in esse previsto, da 20 a 40 osservazioni di cui da 2 a 4 profili, assume la scala del semidettaglio (1:50.000) con lo standard di 0,5 osservazioni ogni cmq di carta (standard internazionali).

Per la scelta di ogni area campione è stata fatta molta attenzione al contenuto informativo pedologico proveniente dalle geometrie della carta pedologica in scala 1:250K, all'accessibilità dei luoghi (strade, etc.) e alla presenza di lavori pedologici pregressi e di profili o pozzetti.

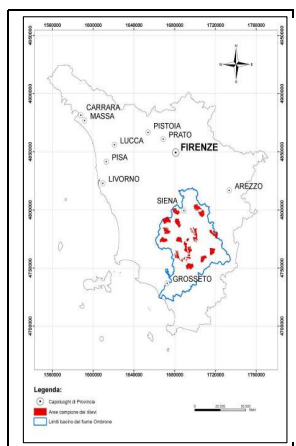


Figura 1 – Bacino idrografico del Fiume Tevere.

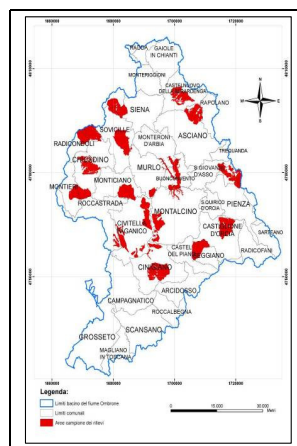


Figura 2 – Aree campione del progetto.

Selezione delle aree campione

Per la scelta delle aree campione su cui concentrare il rilevamento pedologico, in accordo alla metodologia descritta nei precedenti paragrafi, sono stati analizzati i livelli di paesaggio descritti nel Progetto Carta dei Suoli in scala 1:250000, dalle “Soil region” ai “Sistemi di terre” fino ai “Sottosistemi di terre”, analizzando e studiando a fondo le unità cartografiche, ovvero la distribuzione dei suoli nei sottosistemi. In base alle conoscenze pregresse ed anche alle dimensioni delle stesse alla qualità del livello informativo in esse presenti, si è deciso di selezionare per la campagna le 17 UC che coprono la maggior parte del Bacino, mentre le altre 25 sono state analizzate tramite fotointerpretazione, elaborazioni GIS, e supportate soltanto da controlli speditivi di campo, per giungere ugualmente all'attribuzione delle tipologie di suolo per le differenti unità di paesaggio individuate.

Creazione delle Unità di Paesaggio

Una volta individuate e delineate le aree campione, la realizzazione delle Unità di paesaggio al loro interno è stata effettuata tramite l'interpretazione stereoscopica di foto aeree disponibili presso l'archivio regionale; oltre al volo EIRA, anno 1975, scala 1:13.000 circa, presente su tutto il territorio regionale e con il quale è stata realizzata la fotointerpretazione per la carta geologica, si è fatto uso anche del volo alto del 1978, in scala 1:33.000 circa.

Per approfondire le conoscenze sulle caratteristiche dei suoli e per agevolare la comprensione della loro ubicazione all'interno dei vari paesaggi e fornire quindi le chiavi interpretative al successivo lavoro del fotointerprete, si sono raccolti tutti i lavori pedologici pregressi disponibili sia in rete che in biblioteche universitarie e di enti territoriali; nei casi più fortunati sono state rintracciate cartografie in formato vettoriale, in altri casi scansioni delle carte pedologiche georeferite, in ultimo pubblicazioni solo cartacee. Tutti i prodotti sono tuttavia risultati di grande utilità.

L'interpretazione delle foto aeree è avvenuta all'interno delle aree campione verificando la relazione di queste con le unità litologiche della Carta Geologica 1:10.000, facendo propri il più possibile i limiti geologici, risultato di un accurato rilevamento di campo; essa ha utilizzato il metodo dell'analisi fisiografica, ritenuta la più valida per la delineazione della Unità di paesaggio. La fotointerpretazione e la messa a punto della legenda di fotointerpretazione è stata affinata da sopralluoghi in campo. Per ogni area campione è stato realizzato un breve report descrittivo della fotointerpretazione realizzata, di alcune indicazioni utili e necessarie per il rilevamento di campo e della legenda delle unità di paesaggio individuate.

Tecniche semi-automatiche di creazione delle Unità di Paesaggio

Per la creazione di Unità di Paesaggio in tutta la superficie del bacino dell'Ombrone, coerenti a quelle identificate nelle aree campione, sono state messe a punto delle tecniche di "classificazione automatica" e "classificazione semi-automatica" del territorio, che si basano in estrema sintesi sull'analisi di indici morfometrici derivati dal DEM, quali la pendenza, l'esposizione, la curvatura longitudinale ed orizzontale (concavità e convessità), la lunghezza dei versanti, la dimensione e la densità dei bacini idrografici, il pattern di drenaggio. Queste tecniche, che hanno preso spunto da metodologie elaborate da vari autori (ad es. Hengl, T. and Rossiter, D.G., 2003; MacMillan et al., 1997), hanno consentito una descrizione quantitativa dei parametri morfometrici del territorio, ne hanno qualificato le informazioni e ridotto la soggettività usata nel discretizzare il territorio.

La classificazione semi-automatica ha aiutato ad interpretare con più chiarezza i processi legati alle forme del territorio e, di conseguenza, la possibile genesi del suolo. Utilizzando le Unità di Paesaggio precedentemente realizzate con la fotointerpretazione nelle aree campione, si è cercato di mettere in evidenza i processi legati all'energia di versante e al movimento dell'acqua che "guidano" fortemente la pedogenesi. Successivamente con la classificazione automatica e semiautomatica si è esteso il lavoro del fotointerprete a tutta l'area di studio. Tale metodologia è stata di supporto al foto interprete ed lo ha guidato, ove con maggiore efficacia ove meno, nell'apposizione dei limiti.

Estrazione degli indici morfometrici dal DEM e derivazione delle forme del terreno e delle Unità di Paesaggio tramite tecniche di classificazione non-supervisionata.

Per l'estrazione degli indici morfometrici è stato utilizzato il modello digitale del terreno realizzato dalla Regione Toscana.

Il DEM ha il valore di quota applicato a una cella di 10 m di lato ed è derivato dai dati altimetrici della CTR10K. L'accuratezza deriva dal dato originale di CTR. Poiché nelle vette e sui crinali la mancanza di un valore di quota può determinare appiattimenti e terrazzamenti impropri, il modello digitale del terreno ha subito un'operazione di rinfittimento dei punti quotati nelle zone suddette. Successivamente sono state eseguite, tramite opportuni algoritmi, alcune correzioni finalizzate a rendere il DEM idrologicamente corretto.

Gli indici morfometrici estrapolati dal modello digitale, e da noi utilizzati, sono riportati nella seguente tabella:

<i>Attributo</i>	<i>Unità di misura</i>	<i>Valori</i>	<i>Caratterizzazione</i>
Slope	gradi	0...90	pendenza
Plan curvature	1/100m	-30...30	Curvatura del terreno ortogonale alla linea di massima pendenza
Profile curvature	1/100m	-30...30	Curvatura del terreno lungo la linea di massima pendenza
Flowaccumulation	Numero di celle	NA	Accumulo di flusso
Topographic Wetness Index	Senza unità	NA	Tendenza dell'acqua ad accumularsi in un qualsiasi punto del paesaggio

Figura 3 – Indici morfometrici.

L'estrazione delle forme del terreno è stata effettuata su alcune aree campione scelte in modo da riflettere sia la variabilità morfometrica che quella dell'informazione pedologica presente all'interno del bacino del fiume Ombrone, al fine di testare il più possibile l'attendibilità delle tecniche di classificazione sia automatiche che semiautomatiche testate.

Si è scelto di sfruttare le potenzialità del software OpenSource SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses) in quanto la maggior parte dei suoi moduli sono finalizzati proprio alle analisi geomorfometriche. Uno dei principali obiettivi della geomorfometria è proprio quello di automatizzare il più possibile l'estrazione dei parametri e degli oggetti relativi alle forme del terreno e lo studio delle loro proprietà. Inoltre sono molti i riferimenti bibliografici che fanno uso di questo software proprio per l'estrazione supervisionata e non, delle "landforms", anche con l'uso integrato di altri software quali ILWIS e R.

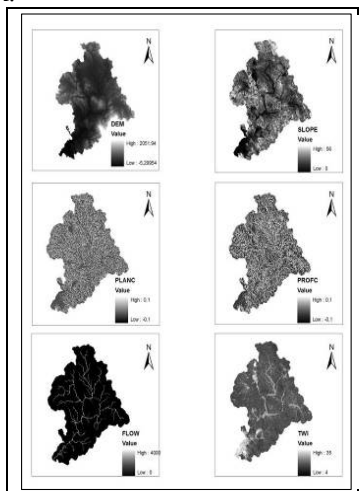


Figura 4 – Indici morfometrici.

Oltre agli indici morfometrici sopra elencati, per meglio individuare le molteplici informazioni del paesaggio da esaminare, sono state utilizzate, come aiuto alla fotointerpretazione e alla spazializzazione, anche le immagini Landsat TM del 2003, l'NDVI, la radiazione solare (calcolata

tramite il tool Incomin Solar Radiation del software SAGA 2.0.3) e la classificazione delle Landform secondo la metodologia Pennock, D.J. and Corre, M.D., 2001.

Non tutti gli indici sono stati utilizzati in maniera congiunta, ma se ne è fatto un uso specifico a seconda della morfologia dell'area da analizzare.

Approccio metodologico per la spazializzazione delle unità di paesaggio

E' risultato fin da subito di estrema importanza conoscere approfonditamente le caratteristiche dei suoli dell'UC (vedi paragrafo successivo "Anagrafe dell'Unità Cartografica") su cui ci si appresta a lavorare utilizzando il lavoro del "Progetto Carta dei Suoli in scala 1:250.000 della Regione Toscana".

L'UC viene visualizzata nel suo insieme in modo tale da poter individuare, anche tramite l'uso di ortofoto e di alcuni indici morfometrici (pendenze, esposizione, ecc...), il perimetro ottimale dell'area campione. Si procede quindi alla realizzazione di una prima fotointerpretazione dando più peso a quegli elementi che, dato il contesto nel quale si sta operando, sono considerati più discriminanti per l'individuazione delle Unità di Paesaggio (pendenze piuttosto che uso suolo, forma più che l'esposizione...); tali elementi vanno annotati in modo tale da utilizzarli per l'esecuzione della "classificazione non supervisionata" (Figura 5).

Per lo svolgimento di tali attività è stato utilizzato ed adattato il metodo descritto in "A Practical Guide to Geostatistical Mapping" (vedi rif. bibl.).

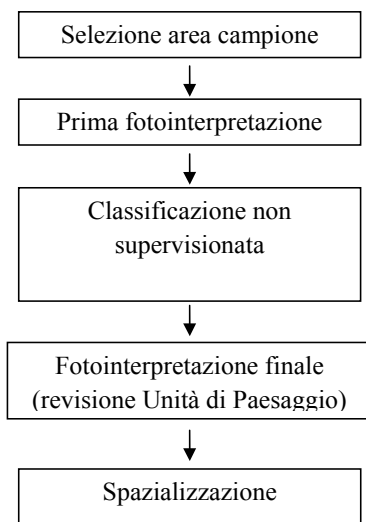


Figura 5 – Flusso di lavoro.

Con la classificazione non supervisionata (fuzzy k-means clustering) vengono estratte le classi geomorfologiche. Per ragioni pratiche si è deciso che 12 classi possono essere sufficienti. Successivamente vengono valutate le corrispondenze con la fotointerpretazione precedentemente svolta e vengono eseguiti gli opportuni accorpamenti tra le classi fino ad ottenerne un numero coerente con la legenda dell'Unità di Paesaggio studiata. Questa attività prevede:

confronto visivo in ambiente GIS tra il grid unsupervised e l'acclività (che viene individuato come l'indice morfometrico prioritario) utilizzando come riferimento la legenda della UDP per l'Unità Cartografica in esame.

accorpamento di due o più classi, e attribuzione della classe individuata alla UDP più rappresentativa.

Successivamente si è proceduto alla vettorializzazione del grid unsupervised e alla fase di smoothing ed eliminate per ottenere il risultato finale in formato vettoriale.

Di seguito si riporta, a titolo di esempio, la descrizione delle attività svolte in una delle UC individuate.

L'Unità Cartografica in questione è la **QUERCIA-CERVOGNANO (QUE1_CRV1)** (Figura 6) che nel 250K viene descritta con una litologia principale costituita da Argille plioceniche, con una morfologia costituita da versanti con pendenze prevalentemente deboli soggetti ad erosione idrica diffusa moderata, e contenuti fenomeni di dissesto e con un uso del suolo rappresentato da seminativi nudi e subordinatamente prati e bosco; negli ultimi anni sono diffusi gli impianti di vigneti specializzati. Le unità di paesaggio individuate mediante fotointerpretazione nell'area campione del Progetto "Ombrone" relative all'UC QUE1_CRV1 sono indicate in figura 6.

Udp	Descrizione Unità di paesaggio
105_1	Superfici sommitali convesse, poco estese, di forma allungata, da subpianeggianti a debolmente pendenti, soggetti ad erosione idrica di tipo diffuso da moderata a forte, su argille ed argille-limose plioceniche di origine marina occupate da seminativi non irrigui e prati.
105_2	Versanti prevalentemente lineari o poco incisi, da debolmente a moderatamente pendenti, soggetti ad erosione diffusa moderata con ricorrenti fenomeni di erosione di massa, su argille ed argille-limose plioceniche di origine marina occupate da seminativi non irrigui e prati.
105_3	Versanti lineari a pendenza da moderata a forte, soggetti ad erosione idrica di tipo diffuso generalmente forte, con presenza di forme calanchive, su argille ed argille siltose, occupate principalmente da formazioni boscate a dominanza di latifoglie termofile e secondariamente di seminativi. (da migliorare: aumentare pendenza; includere seminativo)
105_4	Parti basse di versante, per lo più concave, di raccordo con il fondovalle, o localmente a concavità in versante, a pendenza da debole a moderata (6-20%) con erosione idrica diffusa e deposizione moderata, su argille, argille siltose e depositi di versante con seminativi, vigneti e prati.
105_5	Versanti lineari e parti basse di versante, a debole pendenza, a morfologia rettilinea, erosione assente, a prevalenza di colture annuali.
105_6	Aree di scarpata, scoscese, a morfologia lineare, fortemente erose con incisioni e solchi, presenza di cespugli o vegetazione arborea degradata e rada.

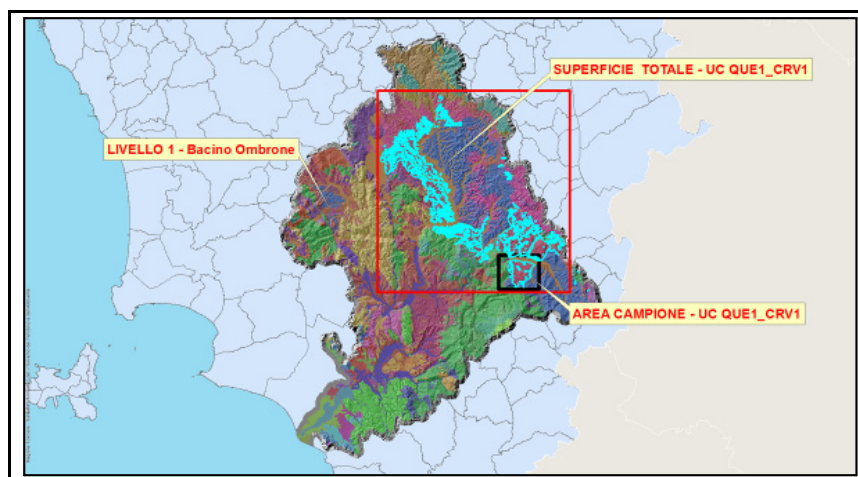


Figura 6 – Descrizione delle Unità di Paesaggio dell'UC QUE1_CRV1 la cui estensione è riportata nell'immagine in basso, con l'indicazione delle aree campione scelte.

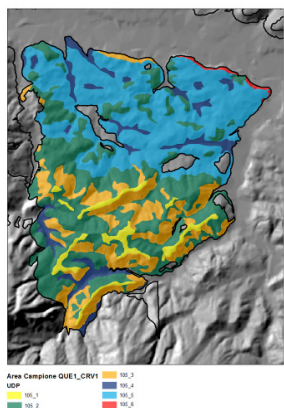


Figura 7 – Area Campione da fotointerpretazione dell'Unità Cartografica QUE1_CRV1.

Si riportano qui di seguito alcuni particolari del risultato delle elaborazioni semiautomatiche dell'UC QUE1_CRV1.

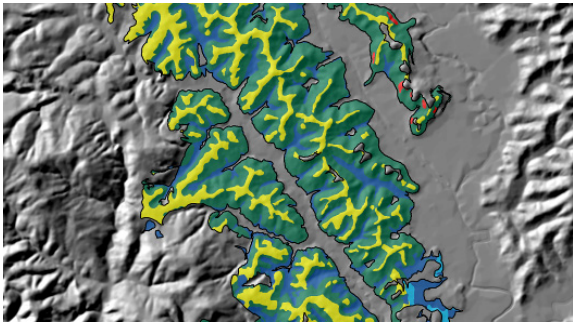


Figura 8 – Particolare spazializzazione semiautomatica.

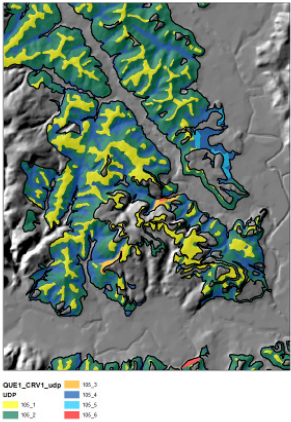


Figura 9 – Particolare spazializzazione semiautomatica.

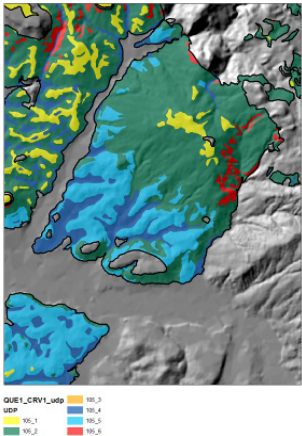


Figura 10 – Particolare spazializzazione semiautomatica.

Identificazione e digitalizzazione delle Unità di paesaggio sul territorio

I risultati ottenuti dall'attività sopra descritta sono stati di grande aiuto nella realizzazione dello strato delle udp per tutto il bacino dell'Ombrone; importanti sono stati anche i singoli indici morfometrici (in particolare la pendenza, la curvatura, l'accumulo di flusso, l'indice di umidità topografica, l'accumulo di radiazione solare, ecc.).

Al fine di suddividere l'intero territorio del Bacino dell'Ombrone in unità di paesaggio con la maggior probabilità di contenere suoli simili al loro interno e per garantire una più precisa elaborazione di dati e valutazione dei comportamenti del suolo per l'utilizzo di modelli nel campo della stima dell'erosione e della tutela idrogeologica, si è realizzato lo strato delle unità di paesaggio con una metodologia vicina alla metodologia classica basata sulla fotointerpretazione, utilizzando e valorizzando le elaborazioni morfometriche e la loro classificazione. Ciò ha consentito di interpretare il territorio in modo sempre ragionato considerando sempre tutte le informazioni territoriali che guidano l'apposizione dei limiti e sfruttando tutte le conoscenze a disposizione.

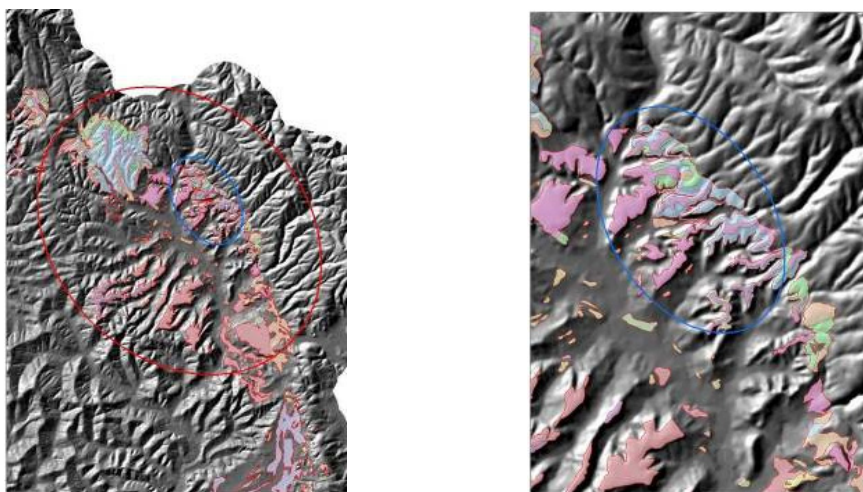


Figura 11– Cerchiato in rosso un sottosistema della carta dei suoli in scala 1: 250000; cerchiato in blu un insieme di unità di paesaggio individuate e delineate al suo interno.

Tutti gli indici morfometrici hanno costituito la base informativa che, assieme alle ortofoto, alle foto aeree e agli altri layer tematici, ha consentito di foto interpretare a video tutto il territorio del sottosistema preso in considerazione; nelle aree campione invece la foto interpretazione è avvenuta su foto aeree con visione stereoscopica.

Conclusioni

Alla luce delle attività effettuate possiamo fare le seguenti considerazioni: la spazializzazione per grandi unità, sparse eterogeneamente sul bacino dell'Ombrone, fornisce risultati sempre meno attendibili via via che ci si allontana dall'area campione foto interpretata; questo perché evidentemente i caratteri del territorio hanno una tale variabilità che occorrono molte più aree campione.

Inoltre quando i criteri di divisione delle varie unità di paesaggio fatte dal fotointerprete sono basate su elementi quali l'intensità di erosione, il pattern di drenaggio, l'uso del suolo, gli affioramenti rocciosi, eccetera, che sono ben riconoscibili in foto aerea, ma non caratterizzabili da alcun indice morfometrico, diventa molto difficile la loro spazializzazione utilizzando tecniche che invece su tali indici hanno la loro forza operativa. E' parso assai funzionale per meglio individuare le molteplici informazioni del paesaggio da esaminare, l'utilizzo dei vari prodotti intermedi, derivati

dall'elaborazione degli indici morfometrici (Slope, Plan curvature, Profile curvature, Flowaccumulation, Topographic Wetness Index) unitamente ad alcuni risultati più convincenti ottenuti dalle elaborazioni automatiche e semiautomatiche.

Tali prodotti forniscono indubbiamente al fotointerprete elementi utili a tracciare i limiti delle Unità di paesaggio in modo più speditivo e certamente più obiettivo. In definitiva si è valutato come, al momento, la delimitazione completamente automatizzata delle varie UDP, sebbene costituisca un metodo molto più rapido, comporti, in fase di validazione e revisione e soprattutto su ampie UC, un lavoro troppo oneroso in termini di tempo.

Riferimenti bibliografici

- Bloemen, W., 1980. *Calculation of hydraulic conductivities of soils from texture and organic matter content*. Z. Pflanzenernähr. Bodenkd., 43: 581-605.
- Borselli L., 1995. Soil Conservation Service Curve Number Method. In Caratteristiche fisiche ed idrologiche del suolo. CNR.
- Brakensiek, D.L., Rawls, W.J. e Stephenson, G.R., 1984. Modifying SCS hydrologic soil groups and curve numbers for rangeland soils. *ASAE Paper No. PNR-84-302, St. Joseph, Michigan*.
- Campbell, G.S., 1985. *Soil Physics with BASIC: Transport Models for Soil-Plant Systems*. 150 pp., Elsevier, New York.
- Cosby, B.J., Homberger, G.M., Clapp, R.B. e Glinn, T.R., 1984. A statistical exploration of the relationships of soil moisture characteristics to the physical properties of soils. *Water Resources Research*, 20: 682-690.
- Calzolari C. et al., 2001. Metodi indiretti per la stima delle proprietà fisico idrologiche dei suoli. *Progetto SINA "Carta Pedologica in aree a rischio ambientale". Rapporto 9.1*
- Hengl, T., 2009. A Practical Guide to Geostatistical Mapping. 2nd Edt. University of Amsterdam, www.lulu.com: 207-218.
- Hengl, T. and Rossiter, D.G., 2003. Supervised landform classification to enhance and replace photo-interpretation in semi-detailed soil survey. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 67(5): 1810-1822
- Hollis J. M., Thanigasalam P., Hallett S. H., Mayr T. R. and Jarvis N., 1995. *SEISMIC: User manual*, Soil Survey and Land Research Centre, Cranfield University, Silsoe, UK.
- Jaynes, D.B., and Tyler E.J., 1984. Using soil physical properties to estimate hydraulic conductivity. *Soil Sci.* 138:298-305
- MacMillan, R.A. and Pettapiece, W.W., 1997. Soil Landscape Models: Automated landscape characterization and generation of soil-landscape models. *Research Report No. 1E.1997*.
- Meyer, P.D., Gee, G.W., 1999. Information on Hydrologic Conceptual Models, Parameters, Uncertainty Analysis, and Data Sources for Dose Assessments at Decommissioning Sites. *Pacific Northwest National Laboratory, PNNL-13091*.
- Rawls, W.J., D.L. Brakensiek, K.E. Saxton. 1982. *Estimation of soil water properties*. Trans. ASAE 25:1316-1320.
- Saxton, K.E., Rawls, W.J., Romberger, J.S. e Papendick, R.I., 1986. Estimating generalised soil-water characteristics from texture. *Soil Science Society of America Journal*, 50: 1031-1036.
- Schaap, M., Leij F.J., van Genuchten M.T., 2001. Rosetta: a computer program for estimating soil hydraulic parameters with hierarchical pedotransfer functions. *Journal of Hydrology*, 251: 163-176.
- Scheinost A.C., Sinowski, W. E Auerswald, K., 1997a. Regionalization of soil water retention curves in a highly variable soilscape, I. Developing a new pedotransfer function. *Geoderma*, 78: 129-143.
- Scheinost A.C., Sinowski, W. E Auerswald, K., 1997b. Regionalization of soil water retention curves in a highly variable soilscape, II. Comparison of regionalization procedures using a pedotransfer function. *Geoderma*, 78: 145-159.
- Simota, C. e Mayr, T., 1996. Pedotransfer function. In: Loveland, P.J. e Rounsevell, M.D.A. (Editors), *Agro-Climatic Change and European Soil Suitability (EuroACCESS)- A spatially distributed, soil, agro-climatic and soil hydrological model to predict the effects of climatic change*

- on land-use within the European Community. Commission of the European Communities, Directorate-General XII Science, Research and Development, pp. 234.*
- Soil Survey Division Staff, 1993. Soil survey manual. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 18
- Tietje O. and Tapkenhinrichs M., 1993. Evaluation of pedotransfer functions, *Soil Sci.Soc. Am. J.* 57: 1088-1095.
- Vereecken, H., Maes, J., Feyen, J., Darius, P., 1989. Estimating the soil moisture retention characteristic from texture, bulk density and carbon content. *Soil Science* 148: 389-403.
- Vereecken H., Maes J., and Feyen J., 1990. Estimating unsaturated hydraulic conductivity from easily measured soil properties, *Soil Science* 149: 1-12.
- Wosten J. H. M., 1997. Pedotransfer functions to evaluate soil quality. In: Soil Quality for Crop Production and Ecosystem health. E G. Gregorich (ed.), *ELSEVIER*, Amsterdam.
- Wosten J. H. M., Lilly A., Nemes A., and Le Bas C., 1998. Using Existing Soil Data to Derive Hydraulic Parameters for Simulation Models in Environmental Studies and in Land Use Planning. Final Report on the European Union Funded Project, SC-DLO, Wageningen.
- Wosten J. H. M., Lilly A., Nemes A., and Le Bas C., 1999. Development and use of a database of hydraulic properties of European soils, *Geoderma* 90: 169-185.
- Wosten J.H.M., Pachepsky Ya.A., Rawls W.J., 2001. Pedotransfer Function Bridging the gap between available basic soil data and missing hydraulic characteristic. *Journal of Hydrology* 251: 123-150.

Correzioni geometriche e radiometriche applicabili a valori di *backscatter* raccolti con sistemi MBES Kongsberg EM 3002

Giuseppe Masetti (*), Andrea Trucco (**), Roberto Sacile (***)

(*) Università degli Studi di Genova, DIST, Via Opera Pia 13, Genova, Tel. 3479713962, gmasetti@ccom.unh.edu

(**) Università degli Studi di Genova, DIBE, Via Opera Pia 11A, Genova, Tel. 0103532253, trucco@ieee.org

(***) Università degli Studi di Genova, DIST, Via Opera Pia 13, Genova, Tel. 0103532153, roberto.sacile@unige.it

Riassunto

Il presente lavoro descrive possibili correzioni geometriche e radiometriche da applicare a valori di *backscatter* raccolti con sistemi MBES Kongsberg EM 3002. Lo scopo di tali correzioni è di fornire valori di *backscatter* quanto più possibile correlati unicamente alle proprietà fisiche caratteristiche del fondale insonificato. Le correzioni, preliminari all'applicazione sui dati di successive tecniche di analisi, influenzano direttamente la qualità dei prodotti ricavati dalla riflettività acustica del fondale marino.

Abstract

This paper describes possible geometric and radiometric corrections for backscatter values collected by MBES Kongsberg EM 3002. The corrections permit to obtain values related mainly to the physical characteristic of the insonified seafloor. These corrections, preliminary to the application of any following technique of analysis, directly influence the quality of products extracted from the seafloor reflectivity.

Premessa

Negli ultimi anni le informazioni deducibili dalla misura di riflettività del fondale marino sono state ampiamente rivalutate. Oggi la riflettività acustica rappresenta, infatti, uno dei prodotti di maggiore interesse di un rilievo idrografico in quanto i valori di *backscatter* permettono di mappare aree omogenee di fondale in maniera rapida e, al contempo, dedurre con buona affidabilità alcune proprietà fisiche del sedimento (come impedenza acustica, ruvidità e disomogeneità volumetrica). Ad esempio, la mosaicatura e l'analisi angolare del *backscatter* permettono di caratterizzare in maniera adeguata un'area di fondale marino caratterizzata da un relitto di una nave moderna, estendendo i risultati di un numero limitato di prese di fondo. Entrambe le tecniche sono state applicate con esiti positivi al *case-study* del relitto della VLCC Haven (Masetti et al., 2010, 2011). Permangono notevoli potenzialità insite nelle misure di riflettività del fondale marino ancora da sviluppare, mutuando e adattando tecniche e metodologie in uso in altri campi come, ad esempio, la *computer graphics* ed il *remote sensing*.

Tuttavia, prima di poter applicare qualsiasi metodo di analisi ai valori raccolti da un sistema *multibeam*, è di fondamentale importanza che i dati siano geograficamente referenziati in maniera opportuna, con l'ausilio del profilo batimetrico misurato dallo stesso sistema multifascio, per rimuovere il tradizionale assunto *real-time* di fondale piatto. Oltre al calcolo dell'effettivo angolo di incidenza che influenza direttamente la superficie insonificata dal fascio acustico, un ampio numero di correzioni radiometriche (*time variable gain*, potenza di trasmissione, *beam pattern* residuale, coefficiente di assorbimento, ...) possono e, talvolta, devono essere applicate durante il *post-processing* dei dati per garantire la qualità dei prodotti ottenuti.

Il fine principale delle correzioni geometriche e radiometriche è, infatti, di ottenere valori di

backscatter strength quanto più possibile correlati unicamente alle proprietà fisiche caratteristiche del fondale insonificato. Tali correzioni sono strettamente legate ai diversi modelli acustici adottati in fase di acquisizione dai costruttori di sistemi multifascio e, talvolta, presentano delle variazioni significative in funzione della famiglia di sistemi prodotti dagli stessi.

Lo scopo del presente lavoro è di illustrare gli esiti di uno studio effettuato su alcune possibili correzioni da applicare ai valori di *backscatter strength* raccolti con sistemi MBES Kongsberg EM 3002. Tale sistema è stato scelto sulla base della larga diffusione di tale sistema per l'esecuzione di rilievi idrografici costieri e portuali. Altri sistemi (Reson Seabat 8125, R2Sonic Sonic 2024, etc.), con simili caratteristiche e altrettanto diffusi, saranno oggetto di studi futuri.

Le correzioni oggetto di studio sono orientate al fine di incrementare la qualità dei dati di ingresso e, quindi, i risultati di approcci al problema dell'analisi, della segmentazione e della classificazione acustica presenti in letteratura: *texture analysis* applicata a *backscatter mosaic*, analisi di *feature* estratte dalla curva di risposta angolare di *backscatter strength*, analisi spettrale della stessa, ecc. (ad esempio, Pace, Gao, 1988; Hughes Clarke, 1994; Fonseca, Calder, 2005, 2007).

Backscatter: definizione e cenni teorici

In acustica subacquea, il termine *backscatter* viene impiegato per indicare, in una configurazione monostatica, la parte di energia trasmessa di ritorno al sistema che l'ha emessa. Ciò è possibile in quanto, nell'intervallo temporale trascorso tra emissione e ricezione, l'onda acustica – dopo essersi inizialmente allontanata dalla sorgente propagandosi nel mezzo di trasmissione (come, ad esempio, l'oceano) – incontra degli ostacoli (lungo la colonna d'acqua e/o alle interfacce di confine come il fondale e la superficie marina) che permettono ad una parte di essa di tornare al sistema emittente. Ne consegue che, in funzione del *target* oggetto di investigazione, una componente energetica variabile del *backscatter* rappresenta una fonte di disturbo (riverberazione).

Già in fase di acquisizione, i sistemi acustici moderni impiegano varie tipologie di filtri per favorire la ricezione della componente 'utile' dell'eco e ridurre i livelli di disturbo e di rumore. Tuttavia, la complessa interazione di un'onda acustica che incontra mezzi con caratteristiche diverse – congiunta alla necessità da parte del sistema di portare a termine in tempo reale la misurazione e la registrazione dei dati – richiede l'esecuzione di una serie di correzioni in fase di *post-processing*.

Il segnale di *backscatter* (*echo level*, *EL*) viene comunemente stimato in decibel, basandosi sulla c.d. 'equazione del sonar attivo':

$$EL = SL - 2TL + TS = SL - 2TL + 10 \log A + BS \quad [1]$$

In tale equazione troviamo rappresentati l'intensità dell'onda acustica trasmessa (*source level* da cui *SL*), le perdite di trasmissione in andata e in ritorno (*transmission loss*, *TL*) dovute principalmente allo *spreading* geometrico e all'assorbimento del mezzo, e la *target strength* (*TS*) inteso come rapporto tra l'intensità acustica di ritorno dall'ostacolo in direzione della sorgente e l'intensità incidente sullo stesso. Quest'ultimo valore è funzione della natura fisica dell'ostacolo, della sua struttura (interna ed esterna) e alle caratteristiche del segnale incidente (durata del segnale e frequenza). Nel caso di un *target* esteso, come il fondale marino, la *target strength* (*TS*) è solitamente rappresentata come composta da due parti: la dimensione del fondale effettivamente insonificato dal sistema acustico (*A*) e la corrispondente *backscattering strength* per unità di superficie (*BS*).

Nel processo di formazione del *backscatter*, il fondale marino agisce principalmente come una superficie ruvida che provoca la diffusione dell'onda acustica incidente. Tale ruvidità è funzione dell'origine geologica e/o biologica del sedimento. Oltre ad esistere fondali con ruvidità variabile su un'ampia scala di grandezze (da pochi millimetri ai metri), la frequente coesistenza di diverse scale nello stesso fondale da luogo a differenti processi fisici contemporanei (ad esempio, *ripple* e *posidonia* presenti su fondale sabbioso). Inoltre, alle frequenze solitamente impiegate per rilievi batimetrici costieri, una parte limitata di energia può penetrare nel sedimento qualora sussista un ridotto contrasto di impedenza con l'acqua dell'oceano. In tal caso, il contributo energetico

proveniente dalle irregolarità presenti nel sedimento si sommano randomicamente al *backscatter* costituitosi all'interfaccia acqua/fondale (Lurton, 2010).

Una ulteriore caratteristica significativa del *backscatter* è di avere un comportamento variabile in funzione dell'angolo di incidenza con il fondale e che tale comportamento è, a sua volta, funzione della tipologia di sedimento insonificato.

Principali caratteristiche del MBES Kongsberg EM 3002

Il principio generale di funzionamento di un sistema acustico *multibeam* prevede l'emissione di un segnale acustico e l'attesa per il ritorno degli echi dello stesso dal fondale. Il fascio in emissione è solitamente molto più largo *across-track* che *along-track*, mentre è l'opposto per il fascio in ricezione. La corrispondente configurazione perpendicolare dei trasduttori, denominata a croce di Mills, permette di definire elettronicamente e simultaneamente un ampio numero di *beam* (solitamente, nell'ordine delle centinaia). Ad ognuno di questi *beam* viene associato il tempo intercorso tra emissione e ricezione (*two-way travel time*) e l'ampiezza del segnale ricevuto (*amplitude*). Sebbene variabile in funzione di alcuni parametri (ad esempio, la temperatura dell'acqua o la presenza di *plankton*), l'area insonificata da un sistema multifascio costiero può essere stimata tra le 5 e le 7 volte il fondale misurato al *nadir*.

Il sistema acustico multifascio a testa singola Kongsberg Simrad EM 3002 lavora ad una frequenza operativa di circa 300 kHz. E' dotato di un fascio acustico in trasmissione con apertura di 130° *across-track* e 1.5° *along-track*. I *beam* in ricezione hanno un'apertura che varia da 1.5° *broadside* ad approssimativamente 3° nella regione più esterna dello *swath*.

Il presente studio è stato sviluppato sulla modalità di impiego denominata *High Definition (HD) mode* che fornisce fino a 256 soluzioni di *bottom detection* in un approccio geometrico equiangolare e basato su 164 *beam* fisici (spaziati circa 0.8°). La durata dell'impulso impiegato è di 0.15 ms, mentre la frequenza di campionamento del beam-forming è di 14.9 kHz. Per ulteriori dettagli sulle caratteristiche del sistema e sulle capacità operative si rimanda al manuale del sistema (Kongsberg, 2004).

Struttura dei dati

I dati di *backscatter* sono registrati dal MBES Kongsberg EM 3002 sia come singolo valore di riflettività per *beam*, sia sotto forma di una serie variabile di campioni di *amplitude* (utilizzati per la *bottom detection* di ciascun *beam*). Entrambe le tipologie di valori, sebbene con una diversa risoluzione spaziale, possono essere utilizzati per la mosaicatura e l'analisi finalizzata alla caratterizzazione remota del fondale, così come necessitano di alcune (e differenti) correzioni per incrementare l'accuratezza.

Molti dei dati necessari a calcolare tali correzioni, così come i valori stessi di riflettività, vengono registrati dal sistema sotto forma di file binari strutturati in modo da contenere differenti tipologie di *datagram* (Kongsberg, 2010). La struttura interna di ognuno di essi è simile in quanto prevede una parte iniziale, con informazioni necessarie alla lettura degli stessi (lunghezza totale in *byte*, tipologia, numero sequenziale, riferimento temporale denominato *time tag*, etc.), un corpo, in cui sono contenuti i dati (posizione geografica, dati batimetrici, profilo di velocità del suono, etc.), ed una parte conclusiva con il *checksum* per verificare che gli stessi dati non siano corrotti.

Durante l'acquisizione, a ogni *ping* acustico sono solitamente associati quattro *datagram* con il medesimo *time tag*: *Raw range and beam angle*, *Depth datagram*, *Seabed image*, *Water column datagram*. Quest'ultimo può essere registrato in un file dedicato a causa delle dimensioni che può raggiungere. Il susseguirsi di tali *datagram* è periodicamente inframmezzato dai dati di assetto e di posizione dell'unità, congiuntamente al *Real-Time Parameter datagram* che, sebbene non viene comunemente impiegato nel *post-processing* dei dati, contiene delle informazioni utili al controllo di qualità dei dati registrati dal sistema.

Il modello acustico Kongsberg

Il modello acustico impiegato dal MBES Kongsberg EM 3002 è basato sulla equazione del sonar [1] e presume uno *spreading* geometrico sferico del segnale:

$$EL = SL - 2\alpha R + 40 \log_{10} R + 10 \log_{10} A + BS \quad [2]$$

Nella suddetta formula, α rappresenta il coefficiente di assorbimento in dB/m (impiegato per stimare le perdite per assorbimento lungo la colonna d'acqua) e R rappresenta la distanza percorsa dall'onda acustica dalla sorgente al target (*range*).

La necessità di adottare un modello acustico è legata sia al limitato *range* di ricezione del ricevitore del sistema acustico, sia alla necessità di evitare il sovraccarico di dati e la raccolta di una quantità eccessiva di rumore. Per evitare tutto ciò un guadagno variabile nel tempo (TVG) è calcolato prima della ricezione di ogni *ping* acustico, basandosi sulle ricezioni precedenti e cercando di far fronte al meglio alle variazioni randomiche di riflettività del fondale.

Come precedentemente ricordato, il comportamento del *backscatter* è funzione dell'angolo di incidenza φ dell'onda acustica sul fondale. A causa della notevole differenza in risposta, il modello acustico è stato definito da Kongsberg sulla base di tre distinti *range* angolari: costante, per incidenza prossima alla normale; linearmente variabile, per piccoli angoli di incidenza; e lambertiano, per la rimanente parte (Hammerstad, 2000). La definizione delle tre leggi applicate in *real-time*, così come i confini delle rispettive aree, sono ricavabili da quattro parametri contenuti nel *Seabed Image datagram*: il *range* all'incidenza normale R_N , il coefficiente di *bottom backscatter* all'incidenza normale BS_N e obliqua BS_0 , l'angolo di *crossover* φ_c tra la legge lineare e lambertiana (Figura 1).

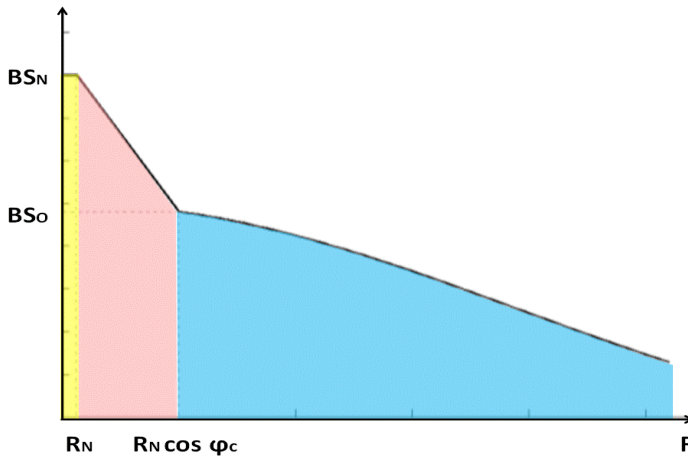


Figura 1 – Range angolari del modello acustico Kongsberg: costante (giallo), lineare (rosso) e lambertiano (azzurro).

L'estensione dell'area di fondale insonificata è definita in due modi differenti. Ad incidenza normale ($\varphi \cong 0^\circ$), l'area è definita come funzione dell'ampiezza del fascio *along-track* θ_x e *across-track* θ_y ; nelle altre direzioni, è funzione dell'ampiezza *along-track* θ_x del fascio e della durata dell'impulso τ :

$$A_b = \begin{cases} 10 \log_{10}(\theta_x \theta_y R^2), & \text{for } R \leq R_N \\ 10 \log_{10}\left(\frac{c \tau \theta_x R}{2 \sin \varphi}\right), & \text{for } R > R_N \end{cases} \quad [3]$$

Correzioni geometriche e radiometriche

Rimozione dell'assunto di fondale piatto

I valori di *backscatter* calcolati in *real time* sono basati sul modello acustico descritto e sull'assunzione di fondale piatto. Tale assunto può essere facilmente disatteso qualora, ad esempio, il fondale presenti una significativa pendenza locale δ in una data direzione.

Le componenti *along-track* δ_x e *across-track* δ_y di tale pendenza possono essere calcolate impiegando un modello digitale del terreno (DTM) ottenuto dalle informazioni batimetriche presenti negli stessi dati raccolti dal sistema multifascio (Lurton et al., 1994).

L'angolo di effettiva incidenza φ_e rispetto al fondale è rappresentato dal prodotto scalare dal vettore $\vec{V}_i$ costituito dal fascio incidente e dal vettore $\vec{V}_n$ normale al DTM (Figura 2):

$$\varphi_e = \arccos \left(\frac{\vec{V}_i \cdot \vec{V}_n}{\|\vec{V}_i\| \|\vec{V}_n\|} \right) \quad [4]$$

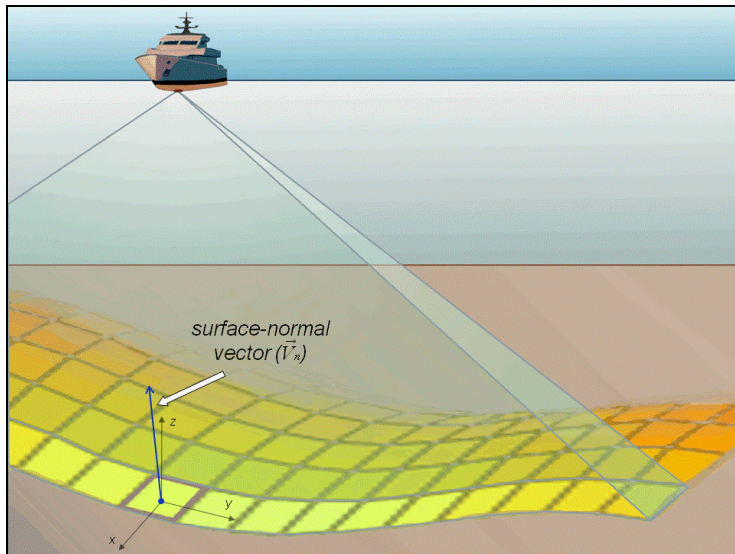


Figura 2 – Rappresentazione del vettore normale al DTM in funzione della pendenza locale.

Ne consegue che l'area effettivamente insonificata dal sistema multifascio è funzione delle componenti della pendenza locale:

$$A = \begin{cases} 10 \log_{10} \left(\frac{\theta_x \theta_y R^2}{\cos \delta_x \cos \varphi_y} \right), & \text{for } \varphi_y \cong 0 \\ 10 \log_{10} \left(\frac{c \theta_x R}{2 \cos \delta_x \sin \varphi_y} \right), & \text{for } \varphi_y \neq 0 \end{cases} \quad [5]$$

In [5], l'angolo di effettiva incidenza *along-track* φ_y è rappresentato dall'angolo di incidenza basato sull'assunto di fondale piatto φ_{yf} corretto della pendenza locale δ_y .

Modalità di registrazione dei dati raccolti

I valori di *amplitude* del segnale ricevuto per ogni campione costituente i *beam* sono registrati nel *Seabed Image datagram*. Tali valori sono raccolti in maniera tale che – posti l'uno accanto all'altro – l'array risultante copre senza soluzione di continuità il fondale insonificato (Hammerstad, 2000).

Ogni campione è ad un intervallo temporale fisso correlato alla frequenza di campionamento e alla modalità di impiego del sistema multifascio. Ne consegue che il numero di campioni per ogni singolo *ping* è variabile in funzione alla batimetria del fondale. Un esempio di tale variabilità è riportato in Figura 3, dove nella parte centrale della linea di acquisizione è presente un innalzamento del fondale legato ad un relitto.

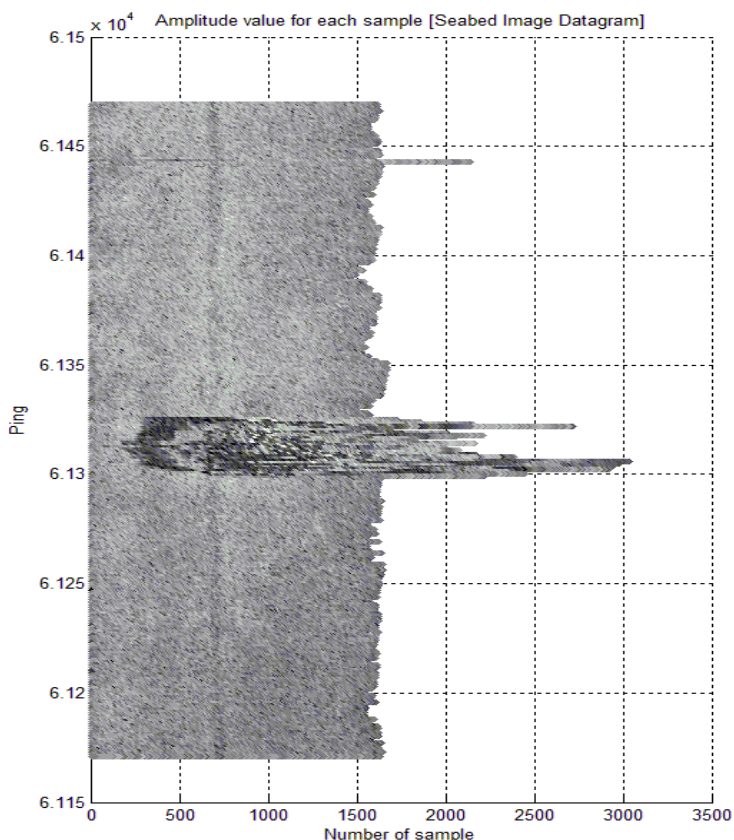


Figura 3 – Esempio di numero variabile di campioni per ping legato alla presenza di un relitto (nella parte centrale della linea di acquisizione) ed un probabile spike (nella parte superiore).

Al fine di rendere possibile una corretta georeferenziazione dell'*amplitude* di un dato campione, all'interno del medesimo *datagram* è presente un campo in cui viene riportato il *beam* di riferimento. Ciò permette di avere come riferimento spaziale la posizione di tale *beam* calcolata come riportato nel paragrafo successivo.

I valori di riflettività per ogni singolo *beam* sono invece riportati nel *Depth datagram*. Come mostrato in Figura 4, tali valori hanno una differente distribuzione rispetto ai corrispondenti valori di *amplitude* dei campioni (*Seabed Image datagram*) in quanto sono applicate differenti correzioni.

Il valore di *beam reflectivity* è costituito dal massimo dei valori ottenuti utilizzando una media mobile di breve lunghezza, oppure dal massimo valore, qualora il beam è troppo breve (ciò accade solitamente ad angoli di incidenza prossimi alla normale). Inoltre, i valori prossimi ad angolo di incidenza normale sono corretti della legge di TVG (linearmente variabile) impiegata dal ricevitore, così come sono sottratti gli effetti dell'applicazione della legge di Lambert.

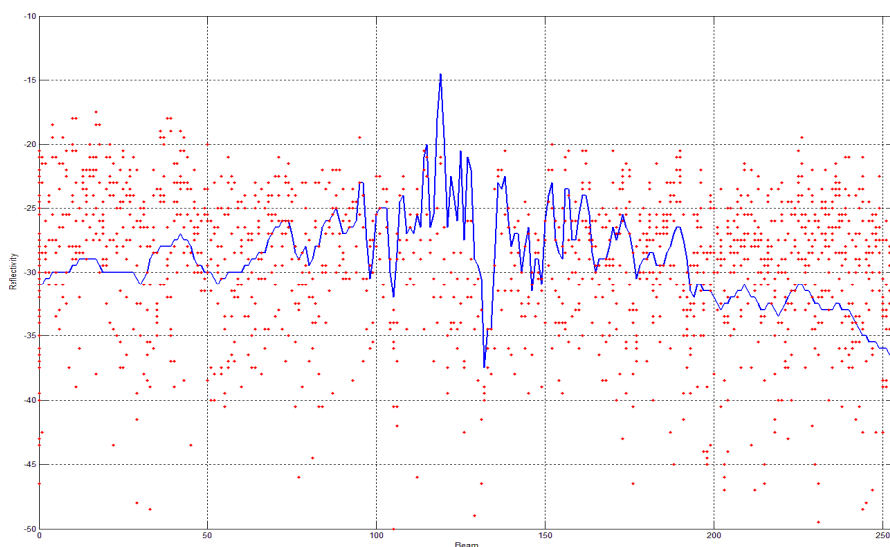


Figura 4 – Valori di riflettività per beam (Depth datagram), in blu, e di amplitudine per campione (Seabed image datagram), in rosso, per un dato ping: la diversa distribuzione è dovuta alle differenti correzioni applicate.

Georeferenziazione dei dati

I dati di riflettività registrati dal MBES Kongsberg EM 3002 per ogni singolo *beam* possono essere agevolmente georeferenziati. Infatti, la posizione del vettore è registrata periodicamente da un apparato di posizionamento (ad esempio, un ricevitore differenziale GPS). Da questi valori, è possibile stimare la posizione del vettore (di solito, si applica una semplice interpolazione lineare). Al tempo del *ping* acustico, il *footprint* di ogni *beam* è localizzato, utilizzando la rotta del vettore e la posizione di ogni *beam* riferita al sistema di riferimento dello stesso vettore (d_b^x , d_b^y , d_b^z). Per effetto del *pitch* e della curvatura dei raggi acustici, i *beam* non sono necessariamente localizzati nel medesimo piano verticale del vettore al momento della ricezione. Il risultato di tale operazione è un posizionamento accurato del *footprint* di ogni *beam* in un sistema di riferimento cartografico (φ_n , λ_b , z_b).

L'approccio per il calcolo della posizione di ogni campione è differente. Il sistema multifascio raccoglie una serie di campioni di *amplitude* lungo lo *swath*, il numero di campioni per ogni *beam* e per ognuno di esso il *detection beam* correlato. Pertanto, la posizione di ogni campione dovrebbe essere ottenuta partendo dal suo tempo di viaggio t_s (*two-way travel time*) e dall'angolo di lancio del *beam* corrispondente ϑ_b e valutando la *bottom detection* risultante in considerazione della curvatura del raggio acustico legata alla variazione verticale della velocità del suono.

Tale procedura, computazionalmente gravosa, viene di solito sostituita a mezzo di due approssimazioni: il fondale è modellato come costituito da una serie di segmenti costituiti dall'unione della posizione dei *beam* lungo lo *swath*, mentre i campioni sono considerati regolarmente spazati. Il risultato è un sufficientemente accurato posizionamento di ogni campione in un sistema cartografico di riferimento (φ_s , λ_s , z_s).

Ad esempio, un mosaico di *backscatter* è di solito costruito partendo dalle posizione dei campioni, in quanto permettono una migliore risoluzione spaziale. Una tale tipologia di mosaico è basato su una matrice geografica dove ogni elemento (*pixel*) rappresenta la riflettività di una parte di fondale marino. Prendendo a riferimento per il dimensionamento del *pixel* (risoluzione del mosaico)

l'effettivo *footprint* di un campione, la matrice risultante presenterebbe soltanto pochi *pixel* con dei valori, anche a causa della spaziatura angolarmente variabile degli stessi e agli effetti delle sollecitazioni del moto ondoso sul vettore (misurate dal sensore di *attitude*).

In letteratura, esistono una serie di approcci impiegati per riempire i *pixel* vuoti del mosaico. Uno dei primi ad essere impiegato prevede la localizzazione di ogni campione di *backscatter* al centro del periodo di campionamento e l'applicazione di una finestra mobile. Quest'ultima riempie i valori mancanti con l'applicazione di una tecnica di *image processing* basata, ad esempio, sul valore medio, sul mediano o su diversi principi di pesatura (*weighted averaging methods*). In tale tecnica, la dimensione minima della finestra mobile – funzione del periodo di campionamento, degli effetti del *pitch* e delle variazioni di rotta – è almeno corrispondente alla dimensione del fascio sul fondale (Augustin et al., 1994).

Applicazione delle correzioni

I coefficienti di *backscatter* per singolo *beam* BS_b sono registrati nel *Depth datagram* in modo tale che gli effetti delle assunzioni del modello acustico usato in acquisizione sono rimossi. Tali coefficienti possono quindi rappresentare una base di partenza per successive analisi della variazione angolare della riflettività angolare volte a dedurre caratteristiche del sedimento.

Tuttavia, si preferisce solitamente ricavare tale variazione angolare partendo dai campioni di *amplitude* per la migliore risoluzione spaziale. Inoltre, anche qualora si decida di lavorare alla risoluzione dei *beam*, partire dai campioni di *amplitude* permette di stabilire la tecnica più idonea a calcolare i coefficienti di BS_b e, quindi, controllare anche le statistiche dei valori ottenuti.

Le finalità delle analisi sulla riflettività possono richiedere la sua mosaicatura, operazione che consiste nello stabilire un valore angolare di riferimento sulla base della quale 'migrare' i valori di riflettività misurati ad angoli differenti. Sebbene tale operazione di 'appiattimento' della variazione angolare di *backscatter* sia già ottenuta applicando il modello acustico, quest'ultimo non è talvolta sufficiente a impedire l'introduzione di artefatti nell'immagine mosaicata in quanto, ad esempio, l'assunzione di fondale piatta è disattesa. Allo stesso tempo, si potrebbe anche decidere di sostituire la Legge di Lambert applicata con una differente (sulla base, ad esempio, di quanto proposto in Gensane, 1989).

Più in generale si può affermare che è possibile applicare un certo numero di operazioni sui campioni di *amplitude* L variabile in funzione dello scopo finale dell'analisi che si vuole effettuare (Hammerstad, 2000).

Un passaggio comune a molte delle possibili analisi è basato sul calcolo dei valori veri dei coefficienti di *backscatter* per ogni *beam* BS_b partendo dai campioni di *amplitude*. Tale calcolo può essere schematizzato in tre fasi:

- rimozione di tutti i guadagni applicati in fase di acquisizione sulla base delle indicazioni fornite dal costruttore;
- correzione per i termini dell'equazione del sonar (perdite di trasmissione, area di insonificazione, livello della sorgente acustica, *beam patterns* in trasmissione e ricezione, pendenza locale, etc.);
- calcolo del valore da assegnare ad ogni singolo *beam* (ad esempio, una media pesata).

I primi due punti permettono di reinserire la dipendenza angolare nei campioni di *amplitude* L così come mostrato in Figura 5. Dopo l'applicazione di tali correzioni, è possibile ricavare il coefficiente di *backscatter* per *beam*., di seguito si riporta la semplice media basata sui valori misurati in decibel degli n campioni di *amplitude* L impiegata sui dati riportati nella suddetta figura:

$$BS_b = 10 \log_{10} \frac{1}{n} \left(10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_n}{10}} \right) \quad [6]$$

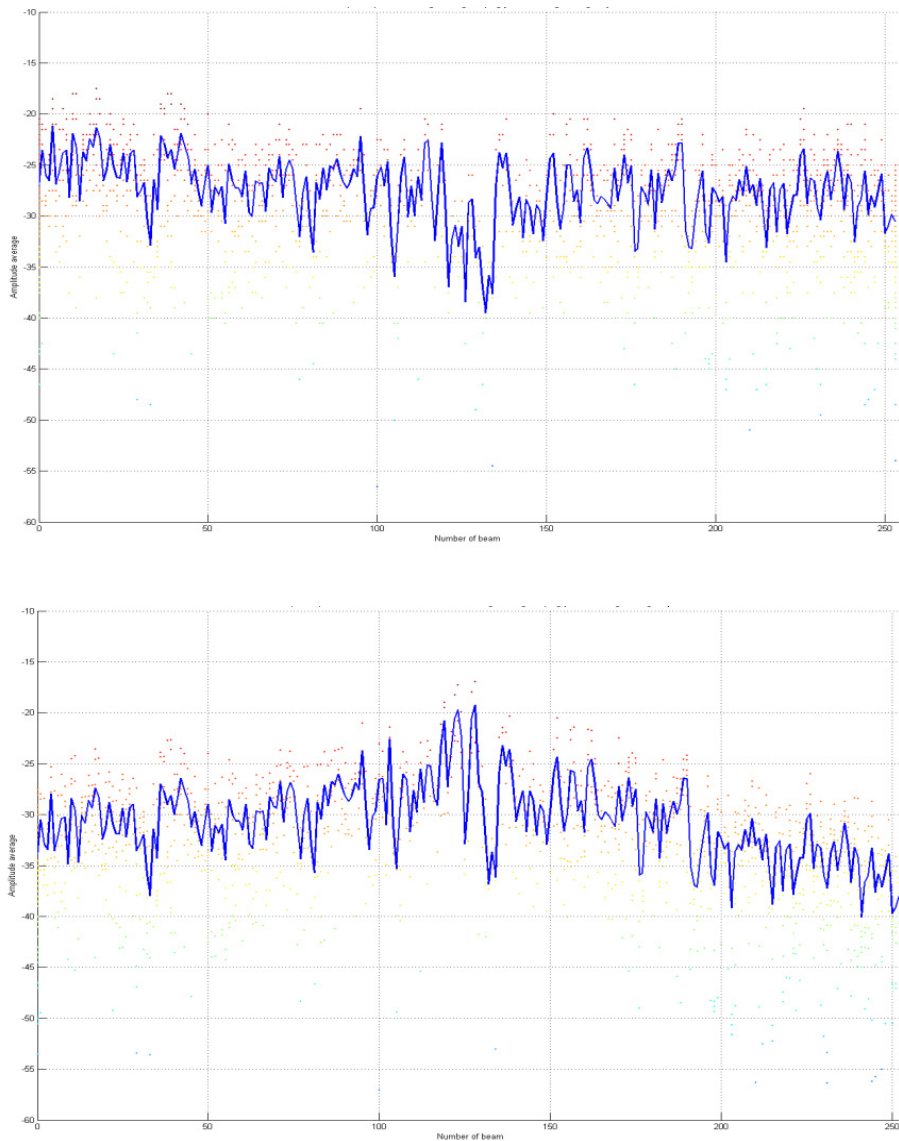


Figura 5 – In alto, valori originali dei campioni di amplitude (visualizzati come punti) con relativo valore medio per beam (linea continua blu) per un dato ping; in basso, il medesimo ping dopo il reinserimento della dipendenza angolare.

Conclusioni

L'applicazione delle correzioni descritte ai valori di *backscatter strength* raccolti con sistemi MBES Kongsberg EM 3002 permette di ottenere dei valori di riflettività per ogni singolo *beam* intrinsecamente caratteristici del fondale marino insonificato. Tuttavia, va sottolineato come sono numerose le possibili sorgenti di errore cui è difficile far fronte anche in *post-processing* legate, ad esempio, alle locali variazioni temporali e spaziali del mezzo di propagazione (Hamilton, Beaudoin, 2010).

In funzione delle finalità delle analisi da applicare ai dati, è presente un certo margine entro cui scegliere l'adozione o meno di alcune delle correzioni geometriche e radiometriche da apportare. Una stima dell'errore introdotto da ognuna delle possibili sorgenti dello stesso può rappresentare un utile strumento di guida in tale scelta. Ciò rende, al contempo, stimabile la qualità dei prodotti ricavati dalla riflettività acustica del fondale marino.

I risultati del presente lavoro verranno impiegati dagli autori in futuri studi volti ad applicare tecniche di *image processing* ai valori di riflettività misurati.

Bibliografia

- Augustin J. M., Edy C., Savoye B., Le Drezen E. (1994), "Sonar mosaic computation from multibeam echosounder", in *IEEE Oceans '94*, Brest (France), 433-438
- Hamilton T., Beaudoin J. (2010), "Modelling Uncertainty Caused by Internal Waves on the Accuracy of MBES", *International Hydrographic Review*, 2:55-65
- Fonseca L., Calder B. (2005), "Geocoder: An Efficient Backscatter Map Constructor", *Proceedings of the U.S. Hydrographic Conference 2005*, San Diego (CA)
- Fonseca L., Calder B. (2007), "Clustering Acoustic Backscatter in the Angular Response Space", *Proceedings of the U.S. Hydrographic Conference 2007*, Norfolk (VA)
- Gensane M. (1989), A statistical study of acoustic signals backscattered from the sea bottom, *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 14(1): 84-93
- Hammerstad E. (2000), *Backscattering and seabed image reflectivity*, EM Technical Note
- Hughes Clarke J. E. (1994), "Towards remote seafloor classification using the angular response of acoustic backscatter: a case study from multiple overlapping GLORIA data", *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 19(1):112-127
- Kongsberg (2004), *EM3002 Multibeam Sonar Operators Manual*, Horten (Norway)
- Kongsberg (2010), *EM series multibeam echo sounders. Datagram formats*. Horten (Norway)
- Lurton X. (2010), *An Introduction to Underwater Acoustics. Principles and Applications*, 2nd ed., Springer-Praxis, Chichester (UK)
- Lurton X., Dugelay S., Augustin J. M. (1994), "Analysis of Multibeam Echo-Sounder Signals from the Deep Seafloor", in *OCEANS '94*, Brest (France), 3:213-218
- Masetti G., Sacile R., Trucco A. (2010), "Caratterizzazione remota del fondale marino tramite analisi e mosaicatura del backscatter", *Atti 14a Conferenza Nazionale ASITA – Brescia 9-12 novembre 2010*, 1275-1280
- Masetti G., Sacile R., Trucco A. (2011), "Remote characterization of seafloor adjacent to shipwrecks using mosaicking and analysis of backscatter response", *Italian Journal of Remote Sensing*, 43(2):77-92
- Pace N.G., Gao H. (1988), "Swathe seabed classification", *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 13(2):83-90

Analisi di immagini Quickbird per l'identificazione e la classificazione delle superfici asfaltate

Alessandro Mei, Rosamaria Salvatori, Fabio Cipolletti, Alessia Allegrini

CNR-IIA, Via Salaria Km 29,300 C.P. 10 00015 Monterotondo, Roma
Tel. 0690672636, mei@iia.cnr.it, salvatori@iia.cnr.it, cipolletti@iia.cnr.it, alessia.allegrini@iia.cnr.it

Riassunto

L'utilizzo di immagini remote per la classificazione delle superficie asfaltate è contraddistinto da un sempre più crescente interesse. Questo è dovuto principalmente alla necessità di ottenere, in tempi brevi, il maggior numero di informazioni circa la vetustà del manto stradale al fine consentire un rapido aggiornamento del Catasto Stradale e, di conseguenza, una gestione ottimale di del reticolo stradale. Al fine di verificare l'applicabilità della metodologia già impiegata su immagini iperspettrali MIVIS per l'estrazione e classificazione delle superfici asfaltate, sono state selezionate immagini multispettrali QuickBird del 2007 (Fiumicino), del 2005 (Saubaudia – Gaeta) e del 2003 (Castel Porziano e Follonica). In mancanza di una diretta corrispondenza tra le bande MIVIS e quelle QuickBird, l'analisi scatterogrammetrica è stata condotta sulle bande 1 (0.45 - 0.52 μ m) e 4 (0.76 - 0.89 μ m) al fine di identificare l'addensamento di pixel relativo agli asfalti e di calcolare il coefficiente angolare della sua retta interpolante da utilizzare come valore di *threshold* nella *Spectral Angle Mapper*.

Abstract

In the last years the use of remote sensed images for paved surfaces classification is marked by a growing interest. This is mainly due to the need to get more information about roads age and distress to allow rapid updating of Road Databases and, consequently, to reach optimal management of road network. In order to verify the applicability of the methodology already used with MIVIS hyperspectral images for the extraction and classification of paved surfaces, QuickBird multispectral images of 2007 (Fiumicino), 2005 (Saubaudia - Gaeta) and 2003 (Castel Porziano and Follonica) were selected.

In the absence of a direct correlation between the MIVIS bands and QuickBird, scatter plot analysis was conducted on band 1 (0.45 - 0.52 μ m) and 4 (0.76 - 0.89 μ m) to identify asphalt pixels and calculate the slope of his interpolated line to use as threshold value in the Spectral Angle Mapper.

Introduzione

Poter stimare lo stato di vetustà e l'età degli assi viari tramite immagini satellitari rappresenta ancora oggi un traguardo da raggiungere.

Attualmente queste determinazioni sono basate su osservazioni di campo, eseguite da esperti del settore, attraverso le quali è possibile definire una priorità di intervento. La problematica è stata già affrontata da diversi autori che hanno utilizzato immagini iperspettrali AVIRIS-HyperSpectir (Noronha et al. 2002, Herold et al. 2008) o dati LIDAR-AISA (Prearo et al. 2005). Recentemente la possibilità di valutare la vetustà delle superfici asfaltate con dati iperspettrali MIVIS (*Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer*) è stata presa in considerazione da Pascucci et al. (2008) che hanno effettuato elaborazioni object-oriented e da Mei et al. (2011) che integrano dati radiometrici di campo (librerie spettrali) e classificazioni *supervised* SAM.

La maggior parte delle indagini svolte fin'ora (Herold et. al 2008, Sengoz 2007, Ben-Dor 2001, Heiden 2007 ecc.) si basa sulla considerazione che sulle superfici asfaltate il deterioramento è

strettamente legato alla diminuzione della componente bituminosa presente sui clasti. Questa diminuzione, che fa assumere al conglomerato bituminoso (asfalto) un comportamento meno viscoelastico e termoplastico (Claire Petersen J. 1984, Mack C. et al 1964, Lethersich W 1942), ha come conseguenza una variazione colorimetrica dell'asfalto.

Sulla base di questa considerazione l'elaborazione delle bande 2 e 16 ($\lambda=0.46\mu\text{m}$ e $\lambda=0.74\mu\text{m}$) del sensore MIVIS, integrata ai dati derivanti da campagne spettrometriche, ha consentito di individuare che sullo scatterogramma di queste due bande, le diverse classi di asfalti che si dispongono lungo una retta ("retta degli asfalti"). L'elaborazione dei coefficienti angolari di tali rette, uniti all'estrazione degli *endmembers* da scatterogramma, ha consentito di ottenere dei buoni risultati in fase di classificazione con l'algoritmo *Spectral Angle Mapper* (Mei et al 2011).

Al fine di verificare l'applicabilità di tale metodologia su immagini da satellite, sono state utilizzate 4 diverse immagini multispettrali QuickBird. In mancanza di una diretta corrispondenza tra le bande individuate con il sensore MIVIS e quelle QuickBird, l'analisi scatterogrammetrica è stata condotta sulle bande 1 (0.45 - 0.52 μm) e 4 (0.76 - 0.89 μm) e in quanto sono le due che meglio approssimano l'intervallo spettrale delle bande MIVIS 2 e 16.

Tipologia del dato ed area di studio

Per lo svolgimento di questo lavoro sono state adoperate immagini multispettrali ad alta risoluzione Quickbird della Digital Globe. Queste immagini hanno una risoluzione spettrale definita da 4 bande (0.45-0.52, 0.52-0.60, 0.63-0.69, 0.76-0.90 μm) cui è associata una banda pancromatica (0.45-0.90 μm) e risoluzione geometrica di 2.44 m in modalità MS e di 0.61 m in modalità pancromatica. In particolare sono state analizzate immagini del 2007 per la zona di Fiumicino, del 2005 per l'area di Sabaudia-Gaeta e del 2003 per la località situata in prossimità di Castel Porziano-Follonica; queste immagini sono state trasformate in valori di radianza al fine di poterle confrontare con i dati MIVIS e di campo.

Elaborazione delle immagini

Il primo passo in questo lavoro è stato quello di individuare, all'interno delle immagini Quickbird, le bande che meglio rappresentassero gli intervalli spettrali delle bande 2 e 16 del MIVIS. In mancanza di una diretta corrispondenza tra tali bande e quelle QuickBird, è stata condotta un'analisi scatterogrammetrica sulle bande 1 (0.45 - 0.52 μm), 3 (0.63 - 0.69 μm) e 4 (0.76 - 0.89 μm) al fine di identificare il binomio ottimale. Tale analisi ha evidenziato che l'addensamento di pixel riferibile alle superfici asfaltate è maggiormente evidente utilizzando le bande 1 e 4 sebbene i loro *range* spettrali (rispettivamente 0.07 e 0.14 μm) siano nettamente più ampi rispetto a quelli delle bande 2 e 16 (rispettivamente 0.023 e 0.02 μm).

Inoltre, come per i dati MIVIS, negli scatterogrammi ottenuti da immagini Quickbird, i pixel corrispondenti alle aree vegetate e ai suoli sono ben raggruppati in altri insiemi chiaramente distinti dal corrispettivo degli asfaltati. Pertanto, analogamente a quanto emerso dai dati MIVIS, la "macro classe asfalti" è stata facilmente evidenziata applicando allo scatterogramma un *density slice* (figura 1_a). Analogamente a Herold et al. (2008) sono state scelte per lo più aree in cui, sugli assi stradali, fosse presente la minor percentuale possibile di ombre e copertura vegetale di modo sia da conservare l'informazione e non avere sovrapposizioni tra la classe asfalti nuovi (quindi scuri) e aree in ombra, come già evidenziato con l'utilizzo di dati MIVIS (Mei et al. 2011).

Sono stati quindi estratti dagli scatterogrammi i pixel ricadenti nella "macro classe asfalti" come file ASCII ed elaborati all'interno di MICROSOFT EXCEL (figura 1_b), analogamente a quanto precedentemente fatto sia con i dati di campo che con i dati MIVIS; sono state quindi calcolate le rette interpolanti (del tipo $y = \alpha x + b$) e i loro coefficienti angolari (α). Questi valori, riportati in figura 1_c, variano da 0.628 a 0.786 con intercette sull'asse y prossime all'origine e sono pertanto paragonabili ai valori ottenuti con i dati MIVIS ($\alpha \approx 0.681/0.858$).

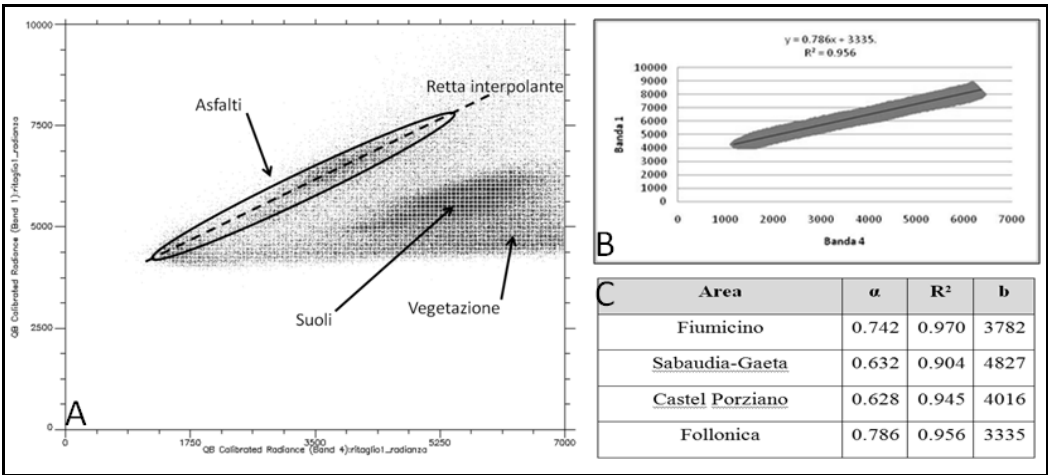


Figura 1 – Scatter plot ottenuto selezionando le bande 1 e 4 di una delle immagini Quickbird (Follonica). Individuazione dell’addensamento di pixel relativi ai suoli, alla vegetazione e agli asfalti con relativa retta interpolante (A). Elaborazione con Excell dei dati scatterogrammetrici (B) e tabella riassuntiva dei parametri delle rette interpolanti (C).

A partire da dati spettroradiometrici, acquisiti nell’intervallo spettrale 350-2500nm, dai dati descrittivi degli asfalti, quali percentuale di bitume sui clasti, colore e dissesto, contenuti all’interno della libreria spettrale appositamente realizzata (Salvatori et al. 2009), sono stati riconosciuti i cluster corrispondenti a 4 raggruppamenti cromatici che, espressi come classi di colore secondo la scala di grigi di Munsell (M), sono stati suddivisi in: $|1 < M < 2|$, $|3 < M < 4|$, $|5 < M < 6|$ e $|7 < M < 8|$ (Mei et al. 2011). A partire da queste classi, riconosciute anche sui dati MIVIS, sono state identificate e poi estratte dagli scatterogrammi ottenuti a partire dalle immagini Quickbird le Region Of Interest (ROI) da usare come *endmembers* nella classificazione con l’algoritmo Spectral Angle Mapper (SAM) (figura 2).

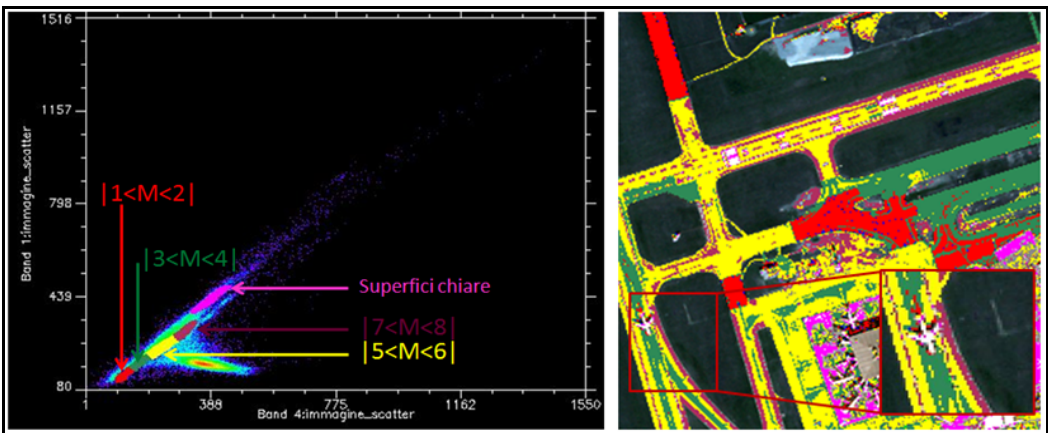


Figura 2 – Individuazione delle classi di colore sullo scatter plot di un’area dell’aeroporto di Fiumicino (dx) e loro visualizzazione sull’immagine (sx). Viene indicata inoltre un’ulteriore classe denominata “superfici chiare” in quanto si tratta di tetti chiari o di superfici (strade o altro) sui quali generalmente è stata applicata della segnaletica orizzontale.

Dopo opportuna trasformazione del dato tramite la routine MNF-Mimimun Noise Fraction, è stato applicato un classificatore SAM, utilizzando come valore di *threshold* l'angolo α precedentemente calcolato.

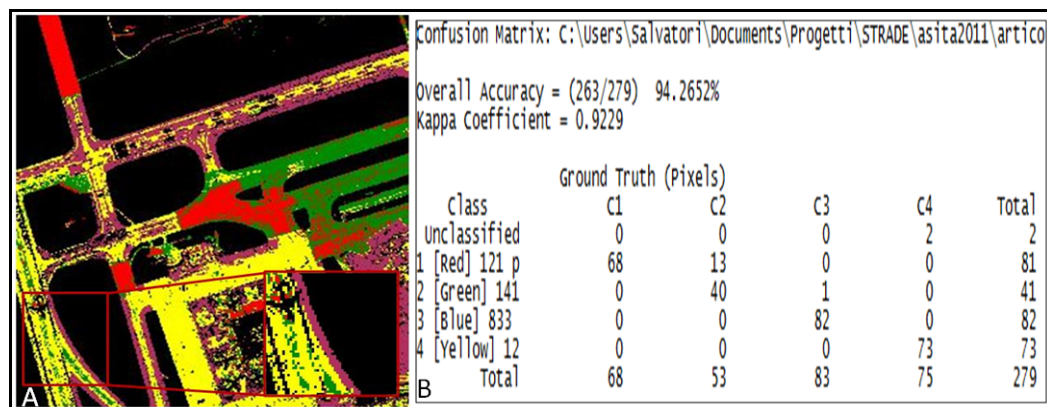


Figura 3 - Classificazione con il metodo descritto dell'area aeroportuale di Fiumicino (A) e sua matrice di confusione (B).

Su base foto interpretativa e conoscitiva delle aree di interesse, sono state infine create delle ROI di controllo che hanno consentito di valutare la bontà della classificazione ottenuta attraverso il calcolo dei valori di accuratezza e dei coefficienti K per ogni immagine classificata.

A titolo di esempio si riporta in figura 3 la classificazione ottenuta di parte della pista di decollo dell'aeroporto di Fiumicino Leonardo Da Vinci e la sua *Confusion matrix*. Come si può notare il risultato ottenuto è del tutto confrontabile con quello ottenuto usando direttamente lo *scatter plot* in figura 2.

Immagini	Overall Accuracy (%)	k-coefficient
Fiumicino aeroproto	94.2652	0.9229
Sabaudia-Gaeta	93.7079	0.9247
Castel Porziano	90.8234	0.8759
Follonica	98.0769	0.9707

Tabella 1 – Accuratezza e coefficienti K.

Infine, in tabella1 vengono riportati i risultati ottenuti per tutte e quattro le immagini classificate da cui si evidenziano valori di accuratezza superiori al 90%.

Conclusioni

Sono state esaminate le bande del sensore multispettrale Quickbird al fine di poter applicare il metodo per l'estrazione e classificazione del reticolo stradale già sperimentato con le immagini iperspettrali MIVIS. Se si considerano le bande 1 e 4 del Quickbird è infatti possibile definire una "macro classe asfalti" che, a sua volta, può essere segmentata in 4 sotto classi di asfalto, definite analizzando dati radiometrici di campo contenuti nella librerie spettrale e riconducibili allo stato di conservazione dell'asfalto.

La definizione dell'equazione della "retta degli asfalti" ha permesso, anche con questo tipo di immagini, di ricavare il coefficiente angolare α da utilizzare come valore di *threshold* nell'algoritmo di classificazione *Spectral Angle Mapper*. Le classificazioni ottenute hanno mostrato una accuratezza che varia dal 90 al 98% e un coefficiente K dell'ordine dello 0.95, valori questi paragonabili con quelli derivati dai dati MIVIS.

Pertanto, utilizzando le banda 1 e 4 delle immagini Quickbird, l'analisi scatterogrammetrica, oltre a permettere un'istantanea percezione del tessuto stradale dell'area di studio, agevola la scelta degli *endmembers* da utilizzare nella successiva fase di classificazione e consente di individuare il valore di *threshold* da adoperare nella SAM.

Bibliografia

- Ben-Dor E. (2001), "Imaging spectrometry for urban applications", *F. D. Van der Meer & S. M.*
- Heiden U., Segl, K., Roessner, S., & Kaufmann, H. (2007), "Determination of robust spectral features for identification of urban surface materials in hyperspectral remote sensing datas", *Remote sensing of Environment*, 11: 537-552.
- Herold M., Roberts D., Noronha V., Smadi O., (2008), "Imaging spectrometry and asphalt road surveys", *Transportation Research, Part C: Emerging Technologies*, 16: 153-166.
- Prearo G. e Righetti G., (2005), "Procedura di integrazione di dati Laser scanning ed iperspettrali per l'estrazione automatica della geometria stradale", *Atti 9 conferenza ASITA, Catania 15 - 18 novembre*, vol.2:15-18.
- Salvatori R., Mei A. & Salzano R. (2009), "Caratterizzazione spettrale di superfici asfaltate e realizzazione di una libreria di firme spettrali", *Atti 13a conferenza nazionale ASITA, Bari 1-4 dicembre*.
- Pascucci S., Bassani C., Palombo A., Poscolieri M., Cavalli R., (2008), "Road Asphalt Pavements Analyzed by Airborne Thermal Remote Sensing: Preliminary Results of the Venice Highway", *Sensors*, 8: 1278-1296.
- Noronha V., Herold. M., Gardner M., Roberts D.A. (2002), "Spectrometry and imaging spectrometry for road centerline extraction and evaluation of pavement condition", *Proceedings of the Pecora Conference, Denver, CO*.
- Mei A., Salvatori R. & Allegrini A., (2011), "Analisi delle superfici asfaltate tramite dati di campo e immagini iperspettrali MIVIS", *Italian Journal of Remote Sensing*, Vol. 43: 147 - 159.
- Lethersich W. (1942), "The Mechanical Behaviour of Bitumen", *Journal of the Society of Chemical Industry, Transactions and Communications*, n. 61: 101-108.
- Mack C. (1964), "Physical Chemistry, Bituminous Materials Asphalts", *Tars and Pitches Interscience* Vol. 1: 25-123.
- Claine P. J. (1984), "Chemical composition of asphalt as related to asphalt durability", *U.S. Dept. of Transportation, federal highway administration, National Technical Information Service*.

Influenza delle condizioni meteorologiche sulla propagazione elettromagnetica ed effetti sul servizio di telefonia mobile

Filippo Messina (*), Leonardo V. Noto (**), Francesco Lo Conti (**)

(*) Vodafone Italia, Radio Access Network Department, Palermo, filmes@libero.it

(**) Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Aerospaziale, Università di Palermo, valerio@idra.unipa.it

L'osservazione delle prestazioni della rete radiomobile GSM Vodafone evidenzia un peggioramento delle connessioni radio specialmente nei mesi estivi e nelle zone costiere. Studi sulla propagazione elettromagnetica, dimostrano l'influenza delle condizioni meteorologiche sulla propagazione del segnale e ciò può determinare un degrado della comunicazione percepibile dall'utente. L'utilizzo di tecniche di analisi spaziale in ambito GIS ha permesso di valutare l'esistenza di un legame delle variazioni prestazionali con le condizioni meteorologiche. L'analisi di autocorrelazione spaziale, ha evidenziato una diseguale distribuzione spaziale del problema, mentre l'analisi dei dati meteorologici, associati alle stazioni GSM dell'area di studio mediante interpolazione spaziale, ha evidenziato gli effetti delle singole variabili meteorologiche sulla qualità del segnale. L'analisi statistica ha poi confermato una diversa distribuzione spaziale della dipendenza. L'insieme di tali risultati conferma l'influenza delle condizioni meteorologiche sulla propagazione elettromagnetica e quindi gli effetti riscontrabili sulla rete GSM.

The performance analysis of the Vodafone GSM mobile network shows a significant deterioration of radio link connection especially during summer season and close the sea. Studies about electromagnetic propagation show the influence of the climatic conditions on the signal propagation, that could cause a deterioration of the communication perceptible from the user. The spatial analysis on GIS environment allows to evaluate the correlation between the performance variation and the climatic conditions. The autocorrelation spatial analysis points out a different spatial distribution of the observed problem. The analysis of the climatic data shows the effect of each climatic variable on the signal quality while the statistical analysis confirms a different spatial distribution of the dependency. All these results provide a clear explanation about the influence of weather conditions on the electromagnetic propagation and then the effects on the GSM network.

Introduzione

Il GSM è un sistema radiomobile che consente l'accesso multiplo alla rete da parte dei terminali mobili o MS (*Mobile Station*), attraverso un collegamento radio bidirezionale con la BTS (*Base Transceiver Station*). La disponibilità di frequenze è limitata, ed è necessario riutilizzare più volte le stesse frequenze in luoghi diversi, adottando una strategia di copertura radioelettrica di tipo cellulare dell'area che si intende servire. Come schematizzato in Figura 1, il territorio da coprire viene quindi suddiviso in porzioni elementari su cui posizionare l'antenna trasmittente che realizza la copertura stessa.

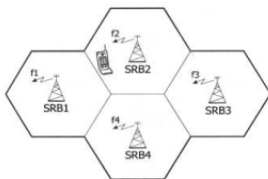


Figura 1 – Schema dell'area di competenza di una BTS.

Il limitato numero di risorse disponibili, unito alla necessità di servire un numero elevato di utenti, implica il dover prevedere un riutilizzo delle stesse frequenze secondo un certo tasso di riuso, che è funzione del numero di canali disponibili, del numero di BTS presenti nell'area e del numero di canali configurati in ognuna di esse e che si risolve nel riutilizzo della stessa frequenza in luoghi diversi e sufficientemente lontani tra loro. La non corretta pianificazione frequenziale o l'eventuale presenza di un segnale *indesiderato* possono determinare fenomeni di disturbo, generalmente indicati con il termine di interferenza (Bertazioli e Favalli, 1996).

Le principali procedure di gestione e controllo del canale radio, partono dal principio generale che la selezione da parte di un terminale mobile della cella servente avvenga sulla base di quella che è misurata, dallo stesso, come cella più forte, in termini di potenza del segnale ricevuto, con la possibilità di gestione della mobilità del terminale attraverso procedura di *handover* che consente il passaggio da una cella servente ad un'altra mantenendo attiva la conversazione in corso.

Tra i diversi parametri oggetto di misurazioni da parte del mobile o della BTS, quello che più intrinsecamente fornisce una misura sulla bontà della connessione radio, prende il nome di RXQUAL, parametro che tiene conto del BER (*Bit Error Rate*) medio. In generale il BER è definito come il rapporto tra il numero di bit errati sul numero di bit trasmessi in una certa finestra temporale, rispetto ad una sequenza nota sia alla BTS che alla MS, che viene inserita all'interno del flusso di bit scambiato. Una volta misurato viene espresso attraverso una codifica a 3 bit, che descrive quindi 8 livelli di qualità (da 0 a 7, con livello 0 pari a qualità ottima).

Nelle comunicazioni GSM è opportuno che i valori di RXQUAL non siano superiori a 4, corrispondente ad un BER massimo di 1.6%. In queste condizioni infatti tutti gli errori occorsi possono essere corretti dalla decodifica di canale. All'interno della rete Vodafone Italia, viene convenzionalmente definito il parametro *Bad Quality*, come la percentuale di campioni rilevati all'interno del report di misure, con valori di RXQUAL superiori a 4, rispetto al numero totale di campioni misurati. Questo parametro è reso disponibile all'interno di tool di analisi e può essere riferito alla sola ora di punta di traffico telefonico (*Busy Hour*) o mediato su tutta la giornata (*Daily Total*). La scelta dei livelli di RXQUAL 5, 6 e 7 è conseguenza del fatto che, per quanto detto prima, con i corrispondenti valori di BER anche applicando la correzione d'errore operata dai codici convoluzionali, la decodifica della voce presenta disturbi percepibili dall'utente.

Il riutilizzo della stessa frequenza su trasmettitori che non operino a sufficiente distanza, o l'effetto di propagazione anomala, può portare il mobile nella condizione di poter essere raggiunto da due (o più) segnali aventi stessa frequenza, dando così origine ad un fenomeno di interferenza noto come *interferenza cocanale*. Il generico parametro che definisce la qualità di un sistema di trasmissione radio, è il rapporto segnale-rumore (S/N dove $S = \text{Signal}$ = potenza del segnale utile, $N = \text{Noise}$ = potenza del rumore) che in ambito GSM è espresso in termini del limite dovuto all'interferenza cocanale attraverso il parametro C/I (dove $C = \text{Carrier}$ = potenza del segnale utile, $I = \text{Interference}$ = potenza del segnale interferente avente stessa frequenza del segnale utile).

La capacità dei sistemi radiomobili cellulari è quindi limitata dal rapporto C/I tollerato dal sistema. Se si vuole aumentare il numero di utenti servibili (per esigenze di traffico elevato) occorre riutilizzare maggiormente le stesse frequenze. Questo comporta la diminuzione della distanza alla quale operano le BTS che utilizzano le stesse frequenze e di conseguenza un aumento dell'interferenza cocanale. E' chiaro infine che in una condizione di più basso C/I , quindi di potenziale alto livello interferenziale, la trasmissione delle informazioni subirà un degrado che troverà corrispondenza, nel parametro RXQUAL presente nei report di misura generati dal mobile o dalla BTS, con incrementi riscontrabili di *Bad Quality*.

Oltre alla qualità della comunicazione radio, vi sono diversi importanti indicatori delle performance di una rete GSM. Uno dei principali è quello relativo alle cadute di chiamata, generalmente indicate con il termine *Drop Call*. L'importanza che tale contatore riveste è intrinsecamente legata agli effetti sperimentabili dall'utenza di un'interruzione della comunicazione, spesso preceduta da momenti di degrado percepibile all'udito. Spesso tale indicatore è espresso in termini di *Drop/Erlang* (con l'*Erlang* definito come il corrispettivo di utilizzo di un canale di traffico

telefonico per un'ora) che esprime la relazione tra le cadute di chiamata registrate rispetto al traffico giornaliero. Altri indicatori di rilievo sono quelli che monitorano l'andamento degli *handover* e tra questi, in particolare l'*HO_Radio_Fail* che esprime la percentuale di fallimenti di tale procedura per cause radio.

L'ambito di propagazione delle onde elettromagnetiche del sistema GSM è quello per onda diretta, sebbene l'azione della troposfera consenta di raggiungere punti che non siano in visibilità ottica (*scattering troposferico*). La propagazione mediante segnali deflessi nella bassa atmosfera, detta propagazione troposferica, può consentire la ricezione su una distanza molto maggiore di quella che si avrebbe se la bassa atmosfera fosse omogenea. In un'atmosfera omogenea, vi è una graduale ed uniforme diminuzione dell'indice di rifrazione con l'altezza. Questo effetto è dovuto agli effetti combinati di una diminuzione di temperatura, di pressione e di contenuto di vapor acqueo, con l'altezza. Questa diminuzione graduale con l'altezza dell'indice di rifrazione causa una leggera deflessione verso il basso, in un percorso curvo, delle onde irradiate entro angoli molto bassi rispetto all'orizzonte. Ne risulta che tali onde si propagheranno oltre l'orizzonte.

Quando la temperatura, la pressione o il contenuto di vapore acqueo dell'atmosfera, non variano con continuità col crescere dell'altezza, la discontinuità, o stratificazione, darà luogo ad una riflessione o rifrazione dei segnali incidenti, a causa della formazione di una regione di inversione nella quale l'indice di rifrazione tende a crescere con l'altezza. Ne consegue la formazione di speciali "guide d'onda" che influenzano la propagazione radio, in cui l'intensità del segnale decresce lentamente con la distanza.

La discontinuità di temperatura o di umidità possono essere provocate da correnti di convezione verticale sopra il terreno nelle ore diurne, ma si verificano più facilmente durante il giorno sul mare. Quando le condizioni di incurvamento sono particolarmente favorevoli esse possono dar luogo alla formazione di un canale, noto come *Effetto Condotta*, cioè la formazione di particolari *guide d'onda troposferiche*, dovute al fenomeno di inversione d'indice di rifrazione (Ikegami, 1959).

La propagazione guidata può generare condizioni di trasmissione del tutto eccezionali, nelle quali un'onda elettromagnetica si può propagare con un'attenuazione molto piccola su grande distanza in modo molto simile a ciò che avviene in una guida d'onda (Figura 2). Questi canali si formano generalmente su percorsi sopra il mare.

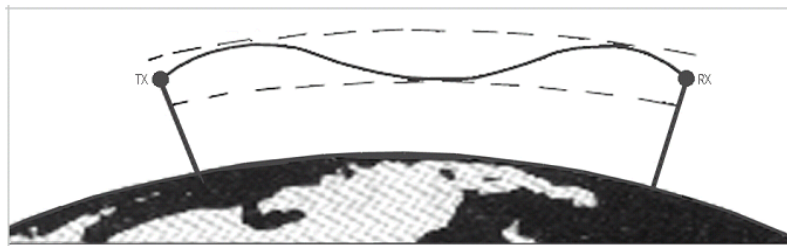


Figura 2 – Effetto Condotta.

Le caratteristiche di questo tipo di propagazione dipendono dalla frequenza, dall'indice di rifrazione, dalla temperatura, dalla pressione atmosferica, dalla percentuale di umidità nell'aria, dallo spessore del canale stesso.

Un condotto è una porzione dello spazio, sede della propagazione del raggio elettromagnetico, in cui l'energia trasportata non si distribuisce più su una superficie sferica, e quindi con un'attenuazione proporzionale al quadrato della distanza, ma su una superficie "rettangolare"; ossia il campo elettromagnetico risulta confinato in altezza da una variazione anomala dell'indice di rifrazione, ed in queste condizioni, si dimostra che l'attenuazione del segnale diventa proporzionale alla semplice distanza e non più al suo quadrato. Ciò può quindi determinare un'anomala propagazione del segnale, che riesce a giungere con la stessa potenza distanze molto più profonde

se confrontate alla propagazione standard, in assenza cioè della “guida d’onda troposferica”. Come già esposto in precedenza, nel sistema GSM, un ruolo fondamentale nel determinare l’accesso di una MS alla rete, viene giocato dal valore misurato del C/I dal mobile stesso. La propagazione anomala di determinati segnali, può quindi determinare un aumento degli interferenti, intesi come segnali isofrequenziali al segnale utile provenienti da BTS limitrofe e quindi un peggioramento del C/I e di conseguenza un potenziale degrado del canale radio.

Obiettivo di questo lavoro sarà quindi quello di studiare l’influenza delle variazioni delle condizioni meteorologiche sulla propagazione elettromagnetica con riferimento particolare agli effetti sulla rete radiomobile GSM di Vodafone in provincia di Trapani, avvalendosi anche di tecniche di analisi spaziale, sviluppate in ambito GIS, al fine di verificare l’eventuale esistenza di correlazioni e la ricerca di schemi di distribuzione spaziale dei fenomeni analizzati.

Area di studio e dati a disposizione

L’analisi è stata condotta su una porzione del territorio siciliano, la provincia di Trapani (Figura 3), caratterizzata da una conformazione geografica con notevole estensione costiera, fattore di interesse visto che il mare, come visto in precedenza, riveste nell’ambito della propagazione elettromagnetica un elemento caratteristico per la formazione dei condotti atmosferici.

Lo sviluppo della rete radiomobile Vodafone di quest’area (Figura 4), segue le caratteristiche del territorio, con una distribuzione delle BTS, abbastanza uniforme sui centri abitati, la cui densità è funzione del numero di abitanti, e lungo le principali vie di comunicazione; l’area di studio coinvolge circa 75 BTS.



Figura 3 – Area di studio.

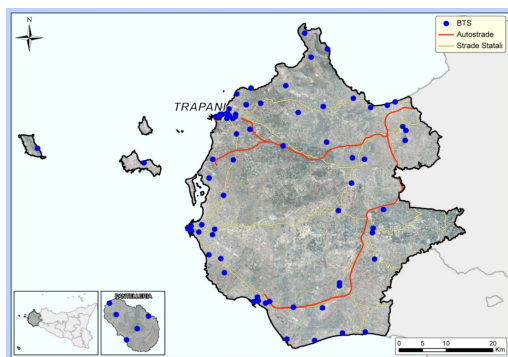


Figura 4 – BTS della rete della provincia di TP.

Le grandezze meteorologiche utilizzate provengono dalla rete di stazioni meteo del SIAS (*Sistema Informativo Agrometeorologico Siciliano*) dell’Assessorato Risorse Agricole e Alimentari della Regione Sicilia, la cui struttura si avvale di una rete di rilevazione diffusa su tutto il territorio della regione, composta da 94 stazioni elettroniche.

L’area della provincia di Trapani risulta ben coperta con la presenza di 9 stazioni di monitoraggio distribuite in modo uniforme sul territorio, mediamente con una stazione ogni 270 Km² (Figura 5). Tutte le stazioni di rilevamento del territorio della provincia di Trapani, sono dotate di sensori per il rilevamento della temperatura dell’aria, dell’umidità relativa dell’aria, delle precipitazioni, della velocità e direzione del vento a 2m, mentre solo su alcune sono presenti i sensori della pressione atmosferica e della radiazione solare globale.

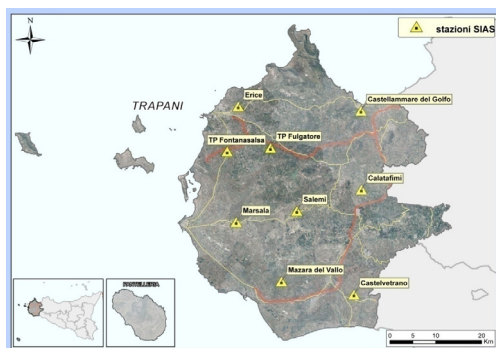


Figura 5 – Rete di rilevamento SIAS nella provincia di Trapani.

Osservando l'andamento dei contatori di rete interni a *Vodafone Italia*, nell'arco di un intero anno solare, relativamente alle BTS del territorio della provincia di Trapani, risulta evidente come nei mesi estivi l'andamento del contatore *Bad Quality* (nel seguito indicata come *BadQual*), subisca un incremento, indice quindi di un peggioramento della qualità del segnale, rispetto all'andamento dello stesso in altri periodi dell'anno.

Il grafico in Figura 6 mostra l'andamento giornaliero di *BadQual* riferito all'anno 2010, aggregato sul *cluster* di siti del territorio in analisi, ossia come media aritmetica dei valori di cattiva qualità registrata su tutti i siti.

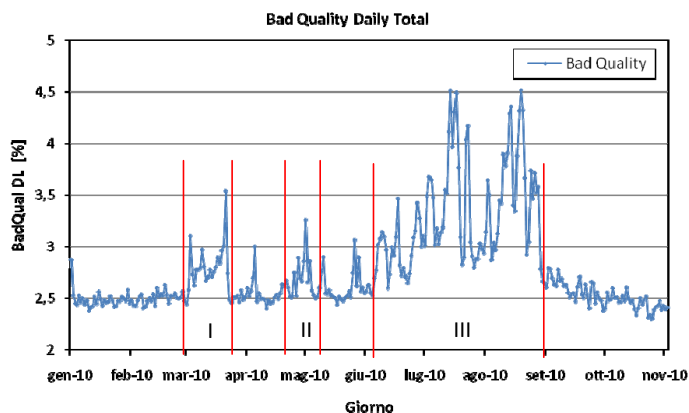


Figura 6 – Andamento *BadQual* in provincia di Trapani.

Oltre all'evidenza del generale peggioramento nel periodo estivo (III), è possibile individuare altre due finestre temporali (I) e (II), nelle quali si registra un prolungato incremento della *BadQual*, seguito subito dopo da altri periodi con un ritorno dei valori di *BadQual* a valori normali. La presenza di questi picchi anomali di cattiva qualità, unita al continuo verificarsi del fenomeno sempre nei mesi caldi dell'anno, lascia supporre la possibilità che vi sia una qualche influenza esterna non dipendente unicamente dalla rete *Vodafone* ma ad un aspetto di interesse generale relativo allo standard GSM.

Come detto prima il fenomeno si presenta con maggiore intensità in una finestra temporale, che coincide con i mesi estivi; per tale motivo le analisi successive saranno ristrette al solo periodo compreso tra il mese di giugno e quello di settembre 2010. Infine quando nel prosieguo si farà riferimento al valore di correlazione, se non diversamente indicato, sarà sempre inteso come

coefficiente di determinazione R^2 che indica la percentuale di variabilità di una variabile dipendente spiegata da una o più variabili indipendenti prese in esame.

Gli effetti del problema osservato sono riscontrabili su molti indicatori delle performance della rete GSM. In Figura 7 si riporta l'andamento del rapporto *Drop/Erlang* (D/E), raffrontato con l'andamento del *BadQual* relativamente a tutte le celle del territorio trapanese. Dal grafico si evince come vi sia una notevole correlazione tra i due fattori, che nello specifico è pari all'85%, segno che il degrado riscontrato sul canale radio, con relativo peggioramento della qualità del segnale, genera un aumento delle cadute di chiamata.

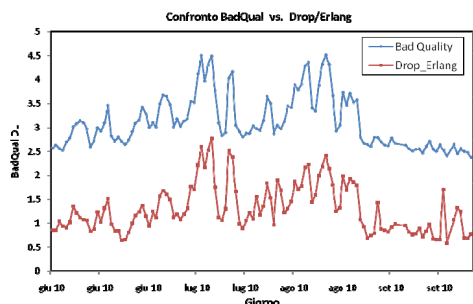


Figura 7 – Confronto *BadQual* - *Drop/Erlang*.

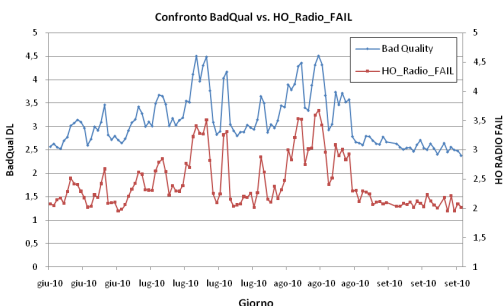


Figura 8 – Confronto *BadQual* - *HO Fail*.

Il grafico di Figura 8, che compara l'andamento dell'*HO Radio Fail* al *BadQual*, evidenzia una notevole correlazione tra i due indicatori. Il relativo indice infatti restituisce un valore molto elevato pari ad oltre il 91%. La procedura di *handover* è per sua natura molto delicata, poiché normalmente viene avviata proprio per le condizioni radio non ottimali in cui si trova in quel momento il terminale mobile. L'ulteriore degrado del canale radio comporta quindi una più alta probabilità di fallimento della procedura, che potrebbe anche comportare un fallito rientro sulla cella di origine e di conseguenza la caduta della chiamata.

Visti gli impatti del fenomeno della propagazione anomala, sulle prestazioni della rete GSM, si può verificare l'esistenza di possibili schemi di distribuzione spaziale del fenomeno osservato, al fine di dimostrare che le variazioni anomale della *BadQual* siano riconducibili principalmente ad un degrado del canale radio, causato dai condotti atmosferici e quindi che esista una correlazione tra andamento della *BadQual* e condizioni meteorologiche. Tale ricerca è stata condotta in ambito GIS avvalendosi per le analisi più complesse del software ESRI-Arcgis.

Al fine di avere una misura della presenza del fenomeno sul singolo sito si è scelta una soglia che permettesse di discriminare un picco di cattiva qualità, pari al 30% della qualità media della singola cella. In questo modo è possibile rappresentare i siti sui quali con maggior frequenza si sono avuti peggioramenti improvvisi della qualità (Figura 9).

E' abbastanza evidente una distribuzione non uniforme del problema, che sembra presente con maggior frequenza sui siti dislocati lungo la costa sud-ovest. Ciò lascia supporre che i siti che risentono in maniera più negativa della propagazione anomala dovuta all'effetto condotto siano proprio quelli ubicati più vicino alla costa, proprio in virtù di quanto visto sull'importanza del mare nella formazione di tali condotti. Il comportamento dei siti costieri non appare comunque uniforme, visto che molti di quelli della parte nord-occidentale della provincia, non sembrano avere subito il fenomeno interferenziale in egual misura.

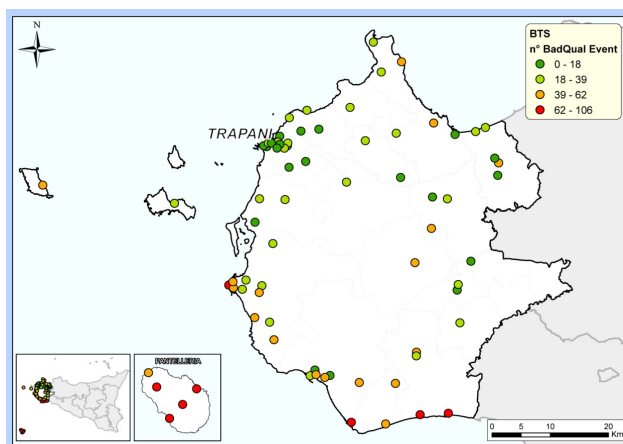


Figura 9 – N° eventi BadQual per sito nel periodo giu-set 2010.

La ricerca di uno schema spaziale di distribuzione del problema con le tecniche di *Pattern Detection*, permette di verificare se lo schema si differenzi da quello casuale, con aggregazioni anomale di punti (schema *clustered*) o spaziatura più o meno regolare (schema disperso), previa conferma con test statistici della significatività della distribuzione rispetto allo schema casuale.

Tra gli algoritmi di indagine, quello di *Autocorrelazione Spaziale*, oltre a tener conto della distribuzione spaziale dei punti, e quindi della loro distanza, considera anche gli attributi che li caratterizzano, eseguendo quindi un'analisi di correlazione pesata.

Applicando tale studio allo schema costituito dalle BTS della provincia di Trapani, utilizzando come attributo di similarità tra i siti, il numero di eventi di cattiva qualità, l'analisi restituisce un indice *I* di Moran pari a 0.43, con uno *Z score* pari 7.76 standard deviations, ben superiore al livello critico previsto per un intervallo di confidenza del 99% pari a 2.58. Ciò significa che la probabilità che questa distribuzione possa essere il risultato di uno schema casuale è inferiore all'1%.

Questi valori indicano ampiamente la presenza di uno schema di distribuzione raggruppato, in cui le BTS con numero medio alto di eventi di cattiva qualità tendono ad essere più vicine tra loro rispetto a quelle con numero di eventi minore. Di conseguenza è corretto ipotizzare vi possa essere la presenza di un fattore esterno che determini un degrado delle connessioni radio, in misura differente in funzione della posizione delle stesse BTS.

Verificata quindi la dipendenza spaziale, resta da dimostrare che l'andamento del fenomeno è correlato alle variazioni climatiche.

I dati meteorologici di tipo puntuale sono stati quindi spazializzati attraverso interpolazione spaziale, mediante i Poligoni di Thiessen (poligoni di Voronoi), e successivamente ciascuna BTS secondo un criterio di appartenenza ad un'area "affine" dal punto di vista climatico, ovvero quella descritta dai poligoni di Thiessen, aree per le quali si assume siano rappresentativi i dati meteorologici della relativa stazione di rilevamento SIAS, ha avuto associata, attraverso *Join Spaziale*, i dati meteorologici della stazione climatica più vicina (Figura 10).

Scelte le grandezze meteorologiche con i più alti livelli di correlazione con l'andamento di *BadQual* (Tabella 1), si è eseguita un'analisi dicotomica al fine avere una indicazione su quello che è la tendenza generata dalla variazione di ciascuna variabile climatica sull'andamento della *BadQual*.

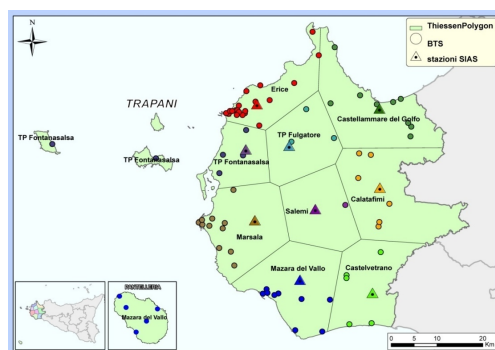


Figura 10 – Associazione BTS - stazioni SIAS.

Gli statistici ottenuti da tale analisi hanno evidenziato la temperatura media giornaliera e la radiazione solare totale giornaliera come fattori di rischio del degrado del canale radio e velocità del vento massima giornaliera e umidità relativa come fattori di prevenzione. L'analisi del rischio per temperatura e radiazione solare indica quindi che un loro incremento determina con buona probabilità un incremento della *BadQual*, al contrario un incremento della velocità del vento o dell'umidità relativa diminuisce la probabilità di incremento della *BadQual*.

Tabella 1 – Grandezze meteorologiche analizzate.

R	Radiazione solare totale giornaliera (MJ/mq)
T	Temperatura aria media giornaliera da orarie (°C)
U	Umidità relativa bassa (<40%) (Ore %)
V	Velocità vento 2m massima giornaliera (m/s)

Stabilito come singolarmente ciascuna grandezza possa essere correlata con l'andamento del degrado del canale radio e quali effetti possa comportare sulla qualità del segnale, una loro variazione, resta da determinare quale correlazione esista tra tutte le variabili in gioco, per la definizione di un modello predittivo dell'andamento della *BadQual* rispetto a tutte le variabili meteorologiche fin qui analizzate. Il modello è rappresentato da una relazione lineare, ed è ottenuto attraverso una regressione lineare multipla, la cui espressione generale assume la forma:

$$BadQual = b_1 T + b_2 V + b_3 U + b_4 R + k \quad [1]$$

Applicata l'analisi di regressione ai diversi *cluster* geografici, i valori dei coefficienti per ciascuno di essi e i valori degli indici di determinazione R^2 , sono riportati in Tabella 2, nella quale l'eventuale mancanza del coefficiente b_4 è dovuta alla mancanza del dato sulla radiazione solare di quel *cluster*.

Gli indici R^2 esprimono per ciascun *cluster*, la correlazione esistente tra i valori di *BadQual* medi del *cluster*, registrati nel periodo di osservazione, con le variabili meteorologiche.

Si conferma un comportamento non uniforme tra i gruppi delle BTS della provincia di Trapani, con valori del coefficiente di determinazione che oscilla da valori bassi, indice di una scarsa dipendenza della *BadQual* con le variabili climatiche, per alcune aree geografiche, a fronte di valori ben più alti per altre aree.

La rappresentazione di questa informazione su mappa (Figura 11) trasmette ulteriori informazioni all'osservatore, non del tutto immediate dai dati numerici, rappresentando, a colore graduato, i coefficienti di determinazione R^2 della regressione.

Tabella 2 – Coefficienti della regressione.

Cluster	b_1	b_2	b_3	b_4	k	R^2 (BadQual – T, V, R, U)
Calatafimi	0.039819	0.011528	-0.002607	-	2.624881	32.1%
Castellammare del Golfo	0.127153	-0.063911	0.004613	0.027691	1.010857	54.1%
Castelvetro	0.141012	-0.181865	0.026707	-0.010175	2.430409	49.2%
Erice	0.054946	0.009840	0.002056	-	2.262935	56.4%
Marsala	0.119717	-0.115584	0.015182	-	1.349315	72.1%
Mazara del Vallo	0.198450	-0.201682	0.032588	0.041045	-0.144396	65.3%
Salemi	0.122412	-0.006140	0.001734	-	1.294938	24.3%
TP Fontanasalsa	0.062791	-0.114920	-0.009441	-	3.188923	24.7%
TP Fulgatore	0.034884	0.013204	-0.000788	0.011211	1.728932	30.3%

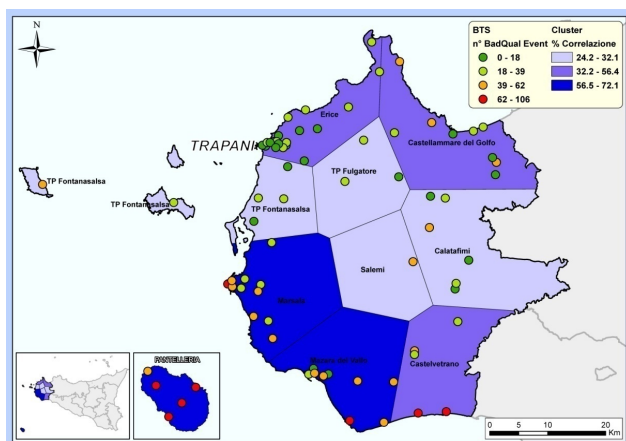


Figura 11 – Correlazione (in %) dei cluster geografici con variabili meteorologiche.

Aree più scure indicano corrispondenti BTS i cui andamenti di degrado della qualità del segnale, sono maggiormente correlati alle variazioni dei fattori ambientali.

La correlazione con le variabili meteorologiche per siti dell'area sud-occidentale (Marsala e Mazara del Vallo) raggiunge valori molto alti, segno di una forte dipendenza tra la qualità del canale radio e le variabili ambientali; il verificarsi di certe condizioni meteorologiche determina quindi degli effetti sulla propagazione del segnale che si manifesta con l'aumento dell'interferenza misurata dalle BTS dell'area. Tale l'interferenza può essere di natura interna, cioè generata dal segnale di BTS della stessa rete Vodafone, ad esempio dell'isola di Pantelleria, la cui propagazione anomala sotto certe condizioni meteorologiche, può essere solo parzialmente gestita con una corretta pianificazione frequenziale, ma anche di natura esterna, ovvero determinata da sorgenti che è ipotizzabile siano localizzate sulle coste tunisine che distano dalla parte sud-occidentale della Sicilia circa 150 km, distanza che, al verificarsi di condizioni di propagazione favorevole, può essere attraversata con bassi livelli di attenuazione e generare i problemi interferenziali registrati sulle coste, con il conseguente peggioramento della qualità del segnale misurato sulle BTS della rete Vodafone (Figura 12).

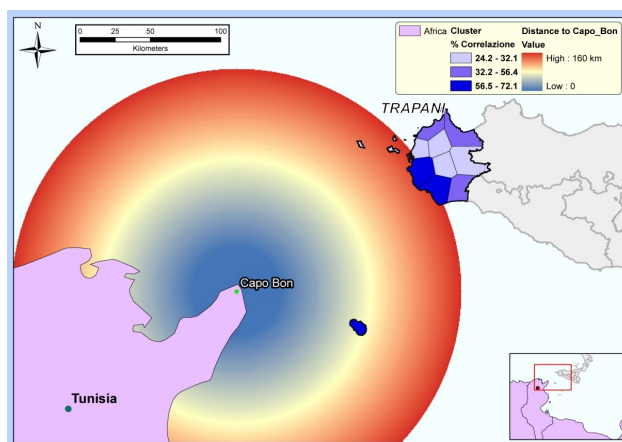


Figura 12 – Distanza Capo Bon Tunisia da Sicilia.

Le BTS del *cluster* di Erice presentano un numero basso di eventi di cattiva qualità, segno che il modello, con una correlazione superiore al 50%, intercetta la dipendenza della *BadQual* dalle variabili meteorologiche, ma gli effetti della propagazione anomala non sono tali da produrre bruschi peggioramenti della qualità, ma oscillazioni meno evidenti seppur correlabili ai dati climatici. Due sono le possibili spiegazioni:

- la maggiore densità di siti presenti nella città di Trapani, pone i terminali mobili in una condizione tale da ricevere mediamente un segnale abbastanza forte dalla propria BTS servente, al punto che eventuali segnali interferenti propagatisi per effetto condotto, risultano comunque essere più deboli del segnale utile, garantendo così un rapporto *C/I* sufficientemente buono;
- l'esposizione geografica della parte nord occidentale della provincia fa sì che i siti che ricadono in quest'area possano con minore probabilità ricevere segnali interferenti, di una certa intensità provenienti dal mare, visto che muovendosi in direzione nord-ovest le uniche sorgenti emittitrici di segnali in banda GSM possono trovarsi solo in Sardegna, ad una distanza di almeno 300 km, tale da attenuare sensibilmente l'eventuale effetto di propagazione guidata.

Per il *cluster* di Castellammare del Golfo l'indice di correlazione è paragonabile a quello di Erice, ma in questo caso le BTS registrano un maggior numero di bruschi peggioramenti di *BadQual*. L'esposizione di molte delle BTS sul golfo omonimo le rende potenzialmente soggette ad interferenza proveniente dalle altre BTS della rete Vodafone della provincia di Palermo, solo parzialmente contenibile dalla pianificazione frequenziale dell'area.

Evidente infine che i bassi livelli di correlazione sono concentrati sui *cluster* delle BTS presenti nell'entroterra della provincia, fattore che rafforza l'ipotesi che la maggiore distanza dalle coste, rende meno efficace gli effetti della propagazione anomala, determinando per le BTS dell'area un comportamento sostanzialmente indipendente dalle variabili meteorologiche.

Il modello regressivo ottenuto per ciascun *cluster* può essere confrontato con l'andamento del valore effettivo di *BadQual* registrato dal gruppo di BTS appartenenti allo stesso *cluster*, utilizzando i valori delle variabili ambientali riferiti allo stesso. In particolare per i *cluster* di Mazara del Vallo e di Marsala, che hanno registrato i livelli di correlazione più elevati si riportano gli scatterogrammi che permettono di valutare la consistenza dei casi di sottostima o sovrastima del valore di cattiva qualità (Figura 13).

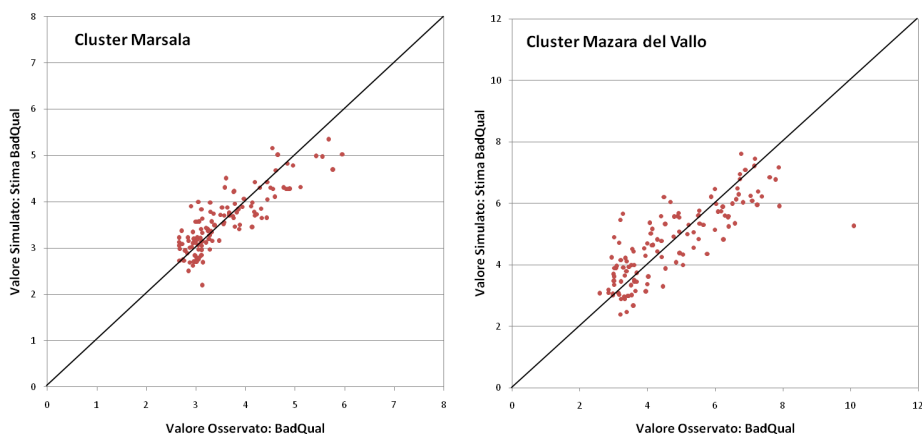


Figura 13 – Scatterogrammi valore osservato/valore simulato.

Gli scatterogrammi di entrambi i *cluster* evidenziano una buona corrispondenza tra i valori osservati di cattiva qualità ed i valori stimati dal modello statistico.

Tra i due modelli, quello relativo all'area di Marsala sembra offrire comunque una maggiore precisione, con una densità di punti molto elevata lungo la retta di riferimento e pochi casi di leggera sovrastima o sottostima da parte del modello. Quello relativo al *cluster* di Mazara del Vallo, presenta invece una minor precisione, rappresentata da una maggiore distanza dei punti dalla retta di *perfect agreement*. Tale differenza rispecchia comunque i differenti coefficienti di determinazione ottenuti dalla regressione multipla.

Conclusioni

L'osservazione del periodico peggioramento della qualità delle connessioni radio GSM, all'interno della rete Vodafone, spinge alla ricerca di eventuali fattori esterni che possano essere causa di questa anomalia. Un possibile legame è dato dalla variazione delle normali condizioni di propagazione elettromagnetica del segnale che avviene in presenza di determinate condizioni ambientali, a causa della formazione di guide d'onda troposferiche che determinano una anomala propagazione del segnale, che si riflette in un degrado della comunicazione.

L'analisi spaziale del problema, ha permesso di definire uno schema di distribuzione del degrado della qualità del segnale, di tipo raggruppato, sulla base di un criterio di similarità dato dal numero di eventi di brusco peggioramento della qualità del segnale su ciascuna BTS, dando quindi evidenza di una diseguale distribuzione spaziale del problema.

Lo studio è stato quindi teso alla verifica di eventuali correlazioni esistenti tra il livello di qualità registrato sulla rete Vodafone e le condizioni meteorologiche i cui dati sono stati forniti dalla rete di rilevamento del S.I.A.S. (temperatura, umidità relativa, velocità del vento e radiazione solare).

Tali studi hanno evidenziato gli effetti che le singole variabili meteorologiche hanno sull'andamento della qualità del segnale, definendo la temperatura e la radiazione solare come fattori di rischio del degrado del canale radio e velocità del vento e umidità relativa come fattori di prevenzione. L'analisi statistica ha poi permesso di definire l'entità complessiva della correlazione tra le variabili meteorologiche ed il dato della cattiva qualità, evidenziando una diversa distribuzione spaziale della dipendenza, che nell'ordine è risultata essere maggiore nell'area sud-occidentale della provincia, media nella fascia settentrionale, e molto bassa nell'aree più interne del territorio.

Infine l'analisi statistica ha permesso di definire un modello predittivo dell'andamento della cattiva qualità in funzione delle variabili meteorologiche. Il modello, verificato per i due *cluster* con il

maggior livello di correlazione, ha evidenziato una buona capacità di stima, con bassi livelli di sovrastima o sottostima.

L'insieme di risultati ottenuti ha quindi confermato l'influenza delle condizioni meteorologiche sulla propagazione elettromagnetica e quindi gli effetti riscontrabili sulla rete GSM.

Bibliografia

Bertazioli O., Favalli L., (1996) *GSM Il sistema europeo di comunicazione mobile: tecniche, architettura e procedure*, HOEPLI;

ETSI 05.08 GSM Technical Specification;

Ikegami F, (1959) *Influence of an atmospheric duct on microwave fading*, IRE Trans. on Antennas and Propagation;

Rec. ITU-R P.453 "The radio refractive index: its formula and refractivity data";

Rec. ITU-R P.834 "Effects of tropospheric refraction on radiowave propagation".

Tecniche di geostatistica per la caratterizzazione di mappe di emissione di CO da osservazioni da satellite

Federica Migliaccio (*), Cynthia Zambrano (**), Elisa Torresani (***)

DIAR, Politecnico di Milano, Piazza Leonardo da Vinci 32, 20133 Milano

(*) Tel. 02 23996507, Fax 02 23996530, federica.migliaccio@polimi.it

(**) Tel. 02 23996543, Fax 02 23996530 cynthia.zambrano@mail.polimi.it

(***) elisa.torresani@mail.polimi.it

Riassunto

Le emissioni di CO dovute al fenomeno di “biomass burning” sono rappresentate da mappe raster stimate a partire da osservazioni da satellite raccolte da sensori di diverso tipo montati su diverse piattaforme, utilizzando inoltre algoritmi in cui i dati di input sono combinati fra loro in diverso modo. Ciò comporta che siano disponibili diversi “prodotti” di emissione di CO, dei quali è importante delineare le caratteristiche e fra le quali risulta molto utile istituire confronti reciproci.

Nel corso degli ultimi anni, nell’ambito di un più ampio lavoro sull’analisi dei dati di emissione di CO, sono stati utilizzati diversi indicatori statistici sia per caratterizzare i singoli dataset di emissione sia per verificare quanto i diversi dataset, confrontati due a due, presentino comportamenti simili o invece forniscano risultati discordanti.

Un ulteriore approccio è stato recentemente implementato per delineare le caratteristiche della distribuzione spaziale dei valori delle mappe di emissione di CO, utilizzando tecniche di geostatistica. L’obiettivo è quello di caratterizzare in maniera sintetica la variabilità spaziale dei dataset attraverso la costruzione e modellazione di semivariogrammi empirici. L’ambito di lavoro è stato ristretto a tre prodotti satellitari (ATSR, MODIS e VGT) per i quali le emissioni di CO mensili sono disponibili in maniera differenziata per classi di *landcover* GLC2000. In particolare le analisi sono state svolte su due finestre geografiche sub-continentali nel continente africano, con risoluzione temporale mensile e semestrale.

Le analisi condotte hanno consentito di rilevare alcuni particolari pattern di variabilità spaziale indicativi delle differenze fra le due finestre sub-continentali e delle diversità fra i vari dataset e inoltre di evidenziare, rispetto agli indici statistici precedentemente calcolati, le componenti di informazione legati alla distribuzione della copertura vegetativa.

Abstract

CO emissions due to biomass burning are represented in the form of raster maps derived from satellite observations collected by sensors of different types mounted on different platforms, applying algorithms where input data are combined in different ways. As a consequence several CO emission “products” are available: for each of them it is important to highlight its specific characteristics and to establish ways of comparing it with the other products.

During the last few years, in the frame of a more extensive research work on the analysis of CO emission data, several statistical indices have been computed both to characterize the single datasets and to verify at which level couples of datasets show similar or different behaviors.

Another approach has been recently studied and implemented in order to outline the features of the spatial distribution of CO emissions, exploiting techniques derived from geostatistics. The goal is always to describe the spatial variability of each dataset in a synthetic way, by means of the computation (and subsequent modeling) of empirical semi variograms. The analysis has been limited to three products obtained by remote sensing (namely: ATSR, MODIS and VGT) for which

the monthly CO emissions are available per GLC2000 land cover class. The study has been carried on for two sub-continental geographical windows located in Africa, both at monthly and half-year temporal resolution.

The results highlighted particular patterns of spatial variability, due to the different behavior of the CO emissions in the two sub-continental windows and to the differences between datasets. An additional advantage of this approach, with respect to statistical indices previously used, is that it allowed to separate the information component related to the vegetation distribution in the areas under study.

Introduzione: l'emissione di CO da incendi di biomassa

Già dagli anni '70 gli incendi di vegetazione, noti come "Biomass Burning", sono stati riconosciuti come la fonte emissiva che più influenza la composizione dell'atmosfera ed i cambiamenti climatici (Crutzen et al. 1979). Gli incendi emettono composti gassosi che variano dai più comuni gas serra come CH₄ e CO₂ ai composti come la CO derivati da combustioni incomplete. In accordo con (IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change 2001) circa il 40% delle emissioni globali di CO sono dovute agli incendi, i quali sono anche responsabili della variabilità interannuale (Novelli et al., 2003) (van der Werf et al., 2004). La stima delle emissioni di CO riveste particolare importanza perché spesso utilizzata come riferimento per il calcolo delle emissioni degli altri inquinanti durante il processo combustivo (Andreae, Merlet, 2001).

Il telerilevamento ha potenzialmente tutte le caratteristiche adatte a quantificare le emissioni da "Biomass Burning" grazie al fatto che garantisce un rilievo globale e quasi continuo nel tempo (Cooke, Koffi, Grégoire, 1996) (Generoso et al., 2003). Per composti come la CO è infatti richiesta una frequenza di acquisizione satellitare elevata visto che la vita media globale in atmosfera di questo gas è di circa due mesi (Stroppiana et al., 2010).

In letteratura esistono due approcci principali per la stima delle emissioni di CO a partire da incendi di biomassa: l'approccio bottom-up è basato sul modello di (Seiler, Crutzen, 1980) secondo il quale l'area bruciata è convertita nei quantitativi emissivi attraverso fattori moltiplicativi dipendenti dalla tipologia di *landcover*; l'approccio top-down, sviluppato a partire dagli anni '90, stima invece le emissioni con modelli di inversione a partire dai dati di concentrazione atmosferica (Stroppiana et al., 2010).

Nell'approccio bottom-up l'emissione di CO dagli incendi $E(CO)$ è espressa dal prodotto per ogni classe i -esima di vegetazione dell'area bruciata BA_i (m²), della densità di biomassa BD_i (kg m⁻²), dell'efficienza di combustione BE_i (kg kg⁻¹) e del fattore emissivo di CO della specie i -esima $EF_i(CO)$ (kg (CO) kg⁻¹) (Seiler, Crutzen, 1980):

$$E(CO) = \sum_{i=1}^N BA_i * BD_i * BE_i * EF_i(CO) \quad [1]$$

dove N è il numero di classi di vegetazione in esame. La densità di biomassa BD , chiamata anche carico di combustibile, è la disponibilità di biomassa per unità di superficie; l'efficienza di combustione BE corrisponde alla percentuale di biomassa che brucia realmente sul totale; il fattore emissivo $EF(CO)$ indica l'ammontare di CO emessa dalla biomassa bruciata.

Nel primo fattore (BA) sono racchiuse le principali differenze dei tre prodotti considerati nella presente ricerca: essi infatti, partendo da rilievi diversi, sottoposti a calibrazioni ed eventuali correzioni diverse, giungono a stime effettivamente differenti dell'area bruciata stessa nonché alla relativa localizzazione. Ciò che invece accomuna i tre prodotti è l'utilizzo degli stessi valori dei coefficienti BD , BE ed EF per ognuna delle classi di land cover e l'utilizzo di una mappa di landcover omogenea. Una mappa globale della distribuzione della copertura del suolo è infatti evidentemente necessaria per determinare quale tipo di vegetazione stia bruciando una volta che l'incendio è stato rilevato (Mieville et al., 2010). In tutta la ricerca è stata utilizzata la mappa

GLC2000 (Bartholomé, Belward, 2005) derivata dal sistema SPOT-VEGETATION, che fornisce la percentuale di ogni classe vegetativa per ogni cella (Mieville et al., 2010) a risoluzione di $0,5^\circ \times 0,5^\circ$. Nel presente lavoro ci si propone come obiettivo l'analisi dei semivariogrammi empirici per caratterizzare e comparare dataset ricavati da prodotti satellitari per i quali sono disponibili le emissioni di CO suddivise per ogni tipologia di landcover. Tali prodotti sono chiamati con gli acronimi ATSR (Kasischke et al., 2003), MODIS (Giglio et al., 2006) e VGT (Michel et al., 2005), nomi derivanti dai sensori utilizzati per le misure satellitari, hanno risoluzione spaziale di $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ e sono costruiti con l'approccio bottom-up.

Per una descrizione più dettagliata dello scopo del progetto, dei dati analizzati e dei risultati della prima parte della ricerca, si veda (Carrion et al., 2009) e (Carrion et al., 2010b).

Il notevole livello di dettaglio, e quindi la numerosità di classi di landcover, presente in GLC2000 è stata ridotta utilizzando dati raggruppati secondo tre macroclassi principali: foresta, savana-prateria (di seguito chiamata semplicemente savana) e agricolo, come già definito per le analisi precedentemente svolte.

Scelta delle finestre geografiche e temporali per le analisi

Nonostante la disponibilità globale dei tre prodotti di emissione di CO per tutti i mesi dell'anno 2003 (considerato come riferimento temporale per tutti i test dell'esperimento INTERMEDE BBSO, nel quale la presente ricerca è inquadrata), le analisi qui descritte si concentrano sull'Africa, continente di grandissimo interesse per lo studio delle emissioni di CO da *biomass burning*. I quantitativi riferiti a tale finestra geografica sono infatti molto rilevanti come mostrato nella Tabella 1 tratta da (Stroppiana et al., 2010): l'Africa è un continente chiave per il ciclo globale del carbonio nonostante vi viva soltanto il 14% della popolazione mondiale ed emetta soltanto il 3% delle emissioni globali dovuti all'utilizzo di combustibili fossili (Williams et al., 2007).

	CO totale [Tg]			Percentuale [%]		
	VGT	ATSR	MODIS	VGT	ATSR	MODIS
Nord America	277,6	48,1	19,2	19	9	2
Europa	87,8	7,3	13,2	6	1	2
Nord Asia	559,1	139,5	241,6	39	25	31
Sud America	121,7	93,1	35,6	9	17	5
Africa	302,7	201,7	367,4	21	37	48
Oceania	74,0	57,9	92,6	5	11	12
Globo	1422,0	574,5	769,6	100	100	100

Tabella 1 – Emissioni totali di CO [Tg] globali differenziate per finestre continentali e percentuale [%] rispetto ai valori globali.

Per le analisi qui descritte il continente africano è stato diviso in due finestre sub continentali Africa_Nord_Equatore ed Africa_Sud_Equatore, delimitate dalle coordinate geografiche riportate nella Tabella 2. Tale suddivisione, suggerita dai ricercatori del CNR-IREA di Milano, dipende dalla stagionalità degli incendi che per il continente africano si inverte proprio sulla linea equatoriale. Infatti, mentre nelle regioni boreali gli incendi normalmente avvengono durante l'estate, in quelle tropicali avvengono durante i mesi invernali di ciascun emisfero con fasi di circa sei mesi (van der Werf et al., 2006).

Finestra	Lon min	Lon max	Lat max	Lat min
Africa Nord Equatore	-30	63	26	0
Africa Sud Equatore	-30	63	0	-50

Tabella 2 – Ampiezza delle finestre geografiche studiate.

Per quanto riguarda la scelta della cadenza temporale alla quale svolgere le analisi, si sono considerati i dataset mensili di emissioni di CO distinti nelle tre macroclassi di landcover, in particolare: per la finestra Africa_Nord_Equatore si sono considerati i mesi di Gennaio, Febbraio, Marzo, Aprile, Novembre, Dicembre e per la finestra Africa_Sud_Equatore i mesi da Maggio a Ottobre. La scelta è stata confermata anche tramite l'analisi visiva delle mappe dei fuochi attivi per ogni mese dell'anno 2003 per il sensore MODIS, disponibili sul sito Internet <http://earthobservatory.nasa.gov/>. Tali mappe indicano naturalmente una forte corrispondenza della stagione degli incendi con la stagione secca.

Analisi dei dataset di emissione di CO attraverso tecniche di geostatistica

Le analisi qui presentate sono finalizzate alla caratterizzazione dei *dataset* disponibili di emissioni di CO da *biomass burning* cercando in particolare di quantificarne la proprietà di autocorrelazione spaziale, basata sul principio che punti tra loro vicini nello spazio abbiano un comportamento più simile e quindi valori più simili rispetto a punti tra loro lontani. E' possibile quantificare tale proprietà costruendo il semivariogramma empirico dei *dataset* e adattando un opportuno modello teorico. Solitamente l'analisi variografica viene utilizzata per una successiva interpolazione di un *set* di dati. Tuttavia, nel caso in esame non c'è la necessità di interpolare i dati di emissione, quindi i variogrammi sono sfruttati di per sé, come indicatori della variabilità spaziale del dato da studiare.

La geostatistica studia la variabilità spaziale dei fenomeni naturali estraendone le regole in un quadro modellistico di riferimento (Raspa, 1995). I modelli geostatistici sono in genere utilizzati per le interpolazioni spaziali con il metodo del *kriging*, metodo alternativo ai classici interpolatori deterministici. Tale metodo è applicabile in tutti quei settori in cui i fenomeni hanno carattere spaziale: scienze geologiche e minerarie, idrologia, scienze dei suoli, agronomia, geotecnica, geofisica, telerilevamento, climatologia, meteorologia, oceanografia, scienze forestali, zoologia, epidemiologia ed igiene ambientale (Raspa, 1995).

La geostatistica assume che i dati siano interpretabili come variabili regionalizzate e che la variazione spaziale possa essere espressa secondo tre componenti principali: componente strutturale (media costante o *trend*), componente *random* spazialmente correlata (variazione della variabile regionalizzata) ed errore residuo spazialmente incorrelato (Burrough, McDonnell, 1998).

L'autocorrelazione è una proprietà statistica del *dataset* stesso. Generalmente le statistiche sui dati e le loro incertezze possono essere derivate solamente se si hanno ripetizioni dell'esperimento e quindi più valori delle osservazioni. Nelle disposizioni spaziali questa proprietà viene garantita sotto l'ipotesi che il *dataset* rappresenti una realizzazione di un processo stocastico stazionario con stazionarietà della media, stazionarietà di secondo ordine per la covarianza e stazionarietà intrinseca per i semivariogrammi. Ciò significa che, una volta determinata la componente strutturale ed eventualmente rimosso il *trend*, le variazioni rimanenti tra i punti sono funzione della distanza ed eventualmente della direzione (autocorrelazione spaziale) e descrivibili dalla semivarianza $\gamma(h)$, che può essere stimata dai dati (Burrough, McDonnell, 1998) tramite l'equazione:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \{z(s_i) - z(s_i + h)\}^2 \quad [2]$$

Plottando il valore di $\gamma(h)$ si ottiene il semivariogramma empirico, che in seguito deve essere interpolato tramite un'opportuna funzione teorica attraverso l'applicazione di tecniche di massima verosimiglianza o di minimi quadrati. I modelli teorici più utilizzati per interpolare i variogrammi empirici sono la funzione sferica, la funzione esponenziale e quella gaussiana (Burrough, McDonnell, 1998).

Un aspetto particolarmente importante nella costruzione dei semivariogrammi empirici è la componente direzionale: si noti infatti come in tutte le formule la distanza h non sia assunta come numero, ma come vettore. Le variabili regionalizzate sono quasi sempre riferite a fenomeni naturali

che, come tali, presentano delle direzioni principali. Per esempio può accadere che un fenomeno sia stazionario in una direzione mentre presenti un *trend* in un'altra. La deriva infatti si manifesta quasi sempre per sua natura secondo una determinata direzione. Nonostante la rimozione del *trend*, i semivariogrammi empirici possono comunque evidenziare ulteriori effetti direzionali e quindi avere andamenti diversi per direzioni diverse.

Risultati delle analisi sui dati di emissione di CO

Le analisi sui dati di emissione di CO sono state condotte in ambiente ESRI ArcGIS, utilizzando in particolare l'estensione *Geostatistical Analyst*. Questa estensione contiene un insieme di *tool* per le analisi spaziali dei dati e fornisce un adeguato supporto geostatistico per l'interpolazione dei dati stessi. *Geostatistical Analyst* raggruppa i *tool* in due sezioni: *Exploratory Spatial Data Analysis* (ESDA) e *Geostatistical Wizard*.

Esempi di semivariogrammi ottenuti sono riportati nella Fig. 1.

In particolare, è importante sottolineare che è stata eseguita una selezione sui semivariogrammi, utilizzando per la successiva interpretazione dei risultati solo quelli per i quali era stato calcolato un indice di errore (appositamente definito) inferiore a un valore di soglia posto empiricamente pari a 0.1. L'indice di errore è stato definito in base alla formula:

$$E_{ij} = \frac{EM_{ij}}{VM_{ij}} \quad [3]$$

dove:

i indica uno specifico *dataset* (combinazione prodotto-*landcover*-mese);

j indica il modello utilizzato per l'interpolazione del semivariogramma empirico (sferico, esponenziale o gaussiano).

Inoltre:

$$EM_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{n_{ijR}} |v_{R,k} - \hat{v}_{R,k}| + \sum_{h=1}^{m_{ijr}} |v_{r,h} - \hat{v}_{r,h}|}{n_{ijR} + m_{ijr}} \quad [4]$$

rappresenta la media dello scostamento dei valori teorici della semivarianza dai valori empirici;

$$VM_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{n_{ijR}} (v_{R,k}) + \sum_{h=1}^{m_{ijr}} (v_{r,h})}{n_{ijR} + m_{ijr}} \quad [5]$$

rappresenta la media dei valori empirici della semivarianza.

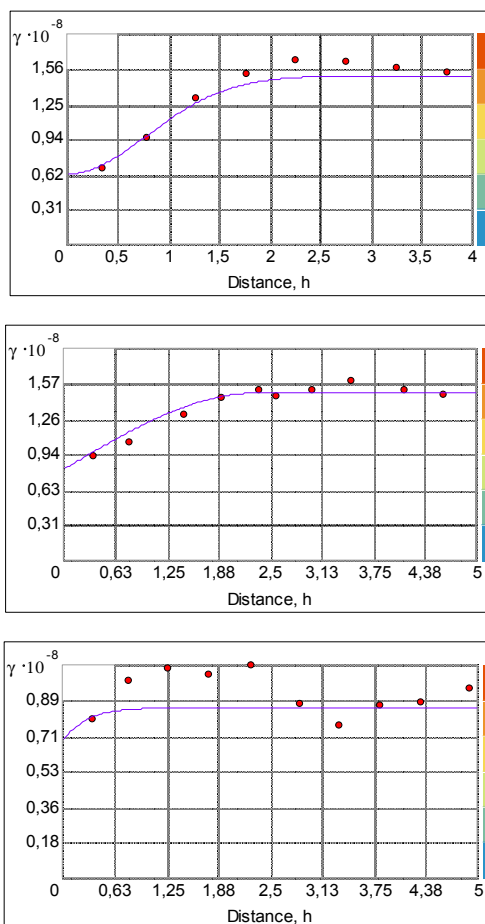


*Figura 1 – Esempi di semivariogrammi empirici interpolati con modelli teorici:
 in alto: MODIS, landcover savana, modello gaussiano, gennaio 2003;
 al centro: VGT, landcover savana, modello sferico, giugno 2003;
 in basso: ATSR, landcover savana, modello esponenziale, agosto 2003.*

I risultati del calcolo dell'indice di errore hanno dimostrato che in generale non esiste un modello che interpreti meglio di qualunque altro il comportamento dei semivariogrammi. Si è comunque verificato che l'errore di modellizzazione decresce all'aumentare del numero di punti del dataset (dataset di sole celle attive, a emissione di CO positiva), come si vede nell'esempio riportato nella Fig. 2.

Basandosi sullo studio dei semivariogrammi, i parametri più significativi presi in considerazione sono stati i seguenti:

- rapporto di anisotropia: indica quanto gli effetti direzionali siano significativi; valori prossimi all'unità rendono l'anisotropia poco rilevante;
- direzione di minima variabilità: direzione lungo la quale la variabilità tra i punti è minore a parità di distanza;
- variabilità spazialmente correlata: percentuale di variabilità spiegata dal modello di autocorrelazione spaziale (percentuale di semivarianza dipendente dalla distanza ed, eventualmente, dalla direzione).

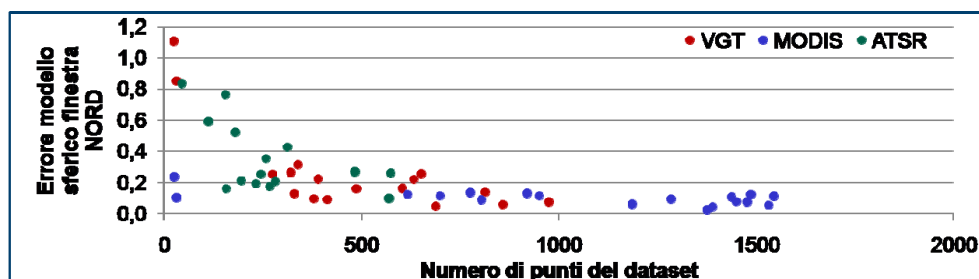


Figura 2 – Esempio di valutazione dell'errore di interpolazione del semivariogramma empirico in funzione del numero di punti del dataset.

Osservando i valori dei parametri calcolati nella finestra Africa_Nord_Equatore, si è constatato che l'autocorrelazione spaziale spiega buona parte della variabilità spaziale di MODIS, mentre i valori di emissione di ATSR sono interpretabili per grandi percentuali come errori spazialmente incorrelati; a VGT corrisponde infine una situazione intermedia (tranne che per il caso del *landcover* "agricolo" nel mese di dicembre).

Inoltre, si è evidenziato un *pattern* di variabilità spaziale comune ai tre prodotti esaminati. Per tutti e tre infatti il rapporto di anisotropia è quasi sempre risultato maggiore di 1.8 e mai inferiore a 1.6, mentre la direzione di minima variabilità è quasi sempre compresa tra $\lambda = 70^\circ$ e $\lambda = 110^\circ$ (direzione Est-Ovest).

Ciò significa che nell'Africa a nord dell'equatore la variabilità spaziale delle emissioni di CO varia, all'aumentare della distanza fra i punti, più velocemente al variare della latitudine, come si vede ad esempio nella Fig. 3. La spiegazione può essere rappresentata dal fatto che le emissioni di CO da incendio di biomassa sono fortemente correlate alla distribuzione della vegetazione, che per questa zona si presenta secondo fasce caratteristiche in direzione longitudinale (Fig. 4).

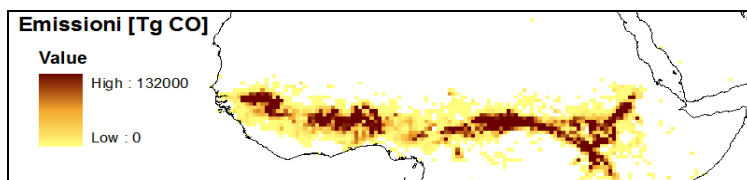


Figura 3 – Emissioni mensili di CO rappresentate dal prodotto MODIS per la finestra Africa_Nord_Equatore (*landcover* "savana", mese dicembre 2003).

Per quanto riguarda la finestra Africa_Sud_Equatore, si è verificato che il rapporto di anisotropia risulta essere per gran parte dei dataset minore di 1.6, e spesso è compreso fra 1.1 e 1.4.

In questo caso però non si è evidenziata una direzione sistematica di minima variabilità. La conclusione è stata dunque che l'area a Sud dell'Equatore presenta un comportamento più isotropo, non evidenziandosi direzioni sistematiche di variabilità spaziale per i diversi dataset esaminati.

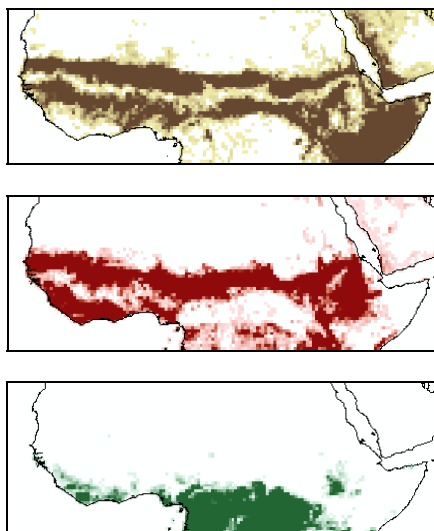


Figura 4 – Distribuzione della vegetazione GLC2000 per le macroclassi savana, agricolo, foresta nella finestra Africa_Nord_Equatore.

Le uniche anisotropie piuttosto marcate corrispondevano a casi particolari, quali il *landcover* savana per il mese di Agosto, per il quale VGT e MODIS presentano entrambi tendenze anisotrope ma sempre con direzioni opposte per i due dataset, e il caso di ATSR (tutti i *dataset*) e VGT (solo per la macroclasse savana per il mese di Ottobre) che indicano forti rapporti di anisotropia probabilmente riconducibili a oscillazioni casuali del semivariogramma.

Nella Fig. 5 è riportato un esempio di mappa di emissioni mensili di CO rappresentate dal prodotto MODIS per la finestra Africa_Sud_Equatore, mentre nella Fig. 6 è mostrata la distribuzione della vegetazione GLC2000 per le macroclassi savana, agricolo, foresta.

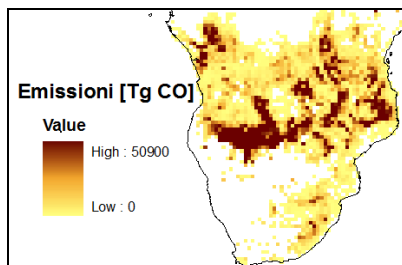


Figura 5 – Emissioni mensili di CO rappresentate dal prodotto MODIS per la finestra Africa_Sud_Equatore (landcover "savana", mese ottobre 2003).

Da ultimo sono state svolte analisi su periodi semestrali corrispondenti ai mesi invernali dei due emisferi, che ai tropici rappresentano la stagione durante i quali si concentrano gli incendi (con fasi appunto di circa sei mesi) (van der Werf et al., 2006). I risultati sono riportati in Tabella 3 e confermano sostanzialmente quanto già riscontrato durante le analisi a cadenza mensile.

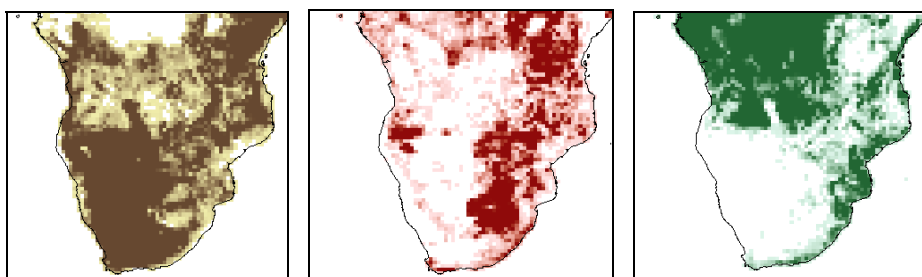


Figura 6 – Distribuzione della vegetazione GLC2000 per le macroclassi savana, agricolo, foresta nella finestra Africa_Sud_Equatore.

Finestra	Africa Nord Equatore	Africa Sud Equatore
Semestre	Nov-Dic-Gen-Feb-Mar-Apr	Mag-Giu-Lug-Ago-Set-Ott
Rapporto di anisotropia	Per tutti i prodotti > 1.5	Per MODIS e VGT < 1.5 (prevalentemente fra 1.1 e 1.3) Per ATSR > 1.8 (Nota: i modelli spiegano in realtà solo una piccola porzione della variabilità spaziale dei dati: la percentuale di variabilità spazialmente correlata è bassa)
Direzione di minima variabilità	$80^\circ < \lambda < 115^\circ$ (est – ovest)	Non sistematica
Variabilità spazialmente correlata	MODIS > VGT > ATSR Ad es. per il mod. gaussiano: MODIS 60-75% VGT 50-60% ATSR 25-30%	Per savana ed agricolo: MODIS > VGT > ATSR Per foresta: MODIS $\approx$ VGT > ATSR

Tabella 3 – Risultati delle analisi semestrali per le due finestre geografiche analizzate.

Conclusioni

Il lavoro presentato si poneva lo scopo specifico di caratterizzare in maniera sintetica la variabilità spaziale dei dataset di emissione di CO attraverso un approccio geostatistico, tramite la modellizzazione dei semivariogrammi empirici.

L'ambito di lavoro è stato ristretto alla comparazione dei *dataset* dei prodotti MODIS, VGT ed ATSR che sono disponibili per macroclassi di *landcover* ed utilizzano un set di parametri comuni legati alla vegetazione. Questi parametri sono utilizzati per la stima delle emissioni come fattori moltiplicativi dell'area bruciata rilevata direttamente dai sensori o ricavata da misure di fuochi attivi per *fire pixel*.

Le analisi si sono concentrate sull'Africa, continente chiave per lo studio del fenomeno di *biomass burning* perché in esso si concentrano una grande percentuale delle emissioni globali di CO. Si sono

definite due finestre sub-continentali relative agli emisferi Nord e Sud, per le quali le analisi sono state condotte a scala mensile e su medie semestrali.

La modellizzazione dei semivariogrammi tramite ArcGIS è stata valutata grazie alla definizione di un indice di errore. I casi di migliore adattamento delle funzioni teoriche ai punti empirici dei semivariogrammi sono stati selezionati per le analisi effettive dei parametri derivanti dai modelli, secondo un criterio di soglia.

Uno dei principali risultati è rappresentato dal fatto che si è evidenziato un *pattern* di variabilità spaziale differente per le due finestre geografiche studiate. Per l'Emisfero Nord, la variabilità spaziale delle emissioni di CO è infatti generalmente molto spiccata in direzione Nord-Sud per tutti i prodotti analizzati. Si è evidenziata la dipendenza di questo risultato dalla distribuzione della vegetazione la cui densità, in questa finestra sub-continentale, aumenta e diminuisce in maniera molto marcata al variare della latitudine. A Sud dell'Equatore invece la variabilità spaziale risente mediamente molto meno degli effetti direzionali e non si registrano direzioni preferenziali sistematiche. L'analisi degli effetti direzionali sulla variabilità spaziale ha permesso inoltre di individuare immediatamente casi di stima anomala in cui un prodotto satellitare, per un particolare mese e/o *landcover*, si differenzia da questi pattern sistematici di variabilità.

Per quanto riguarda la differenza tra i prodotti, si è notata una migliore modellizzazione geostatistica dei dataset riferiti al prodotto MODIS. Essi infatti presentano generalmente un errore spazialmente incorrelato minore e quindi una più spiccata dipendenza della variabilità spaziale dalla distanza fra i punti ed, eventualmente, dalle direzioni lungo le quali essa è calcolata. Al prodotto ATSR corrisponde invece una maggiore discontinuità spaziale e la possibilità di verificare la proprietà di autocorrelazione spaziale soltanto per una piccola porzione della variabilità spaziale stessa dei dati. VGT presenta infine, nella maggior parte dei casi, una situazione intermedia tra gli altri due prodotti.

Per ATSR si sono potuti analizzare soltanto i parametri derivanti dai modelli di pochi dataset mensili perché, essendo questi ultimi generalmente formati da un ridotto numero di celle, l'errore di modellizzazione è risultato mediamente molto elevato. In particolare la scarsità di celle attive del prodotto ATSR, che rende le mappe emissive più "frammentate", deriva dal fatto che le misure satellitari di fuochi attivi, sulle quali si costruisce questo inventario, sono condotte soltanto di notte. Da ciò dipende anche la sottostima nei totali mensili di emissione di CO di questo prodotto.

Rispetto ai risultati ottenuti durante i precedenti studi (Carrion et al., 2009), (Carrion et al., 2010a), (Carrion et al., 2010b), queste analisi hanno consentito di scindere, per i confronti, la componente derivante dall'utilizzo dei parametri legati alla vegetazione (uguali per i diversi prodotti) da quella invece dipendente dalla stima dell'area bruciata (differente per ciascun prodotto). Si evidenzia infatti come il *pattern* spaziale sistematico della finestra a Nord dell'Equatore dipenda in realtà dalla distribuzione della vegetazione e si presenti quindi in tutti i prodotti poiché costruiti sulla stessa mappa di *landcover*.

Nonostante questo, è da sottolineare il fatto che lo scopo di caratterizzazione sintetica e comparazione dei dataset di emissione di CO sia stato raggiunto soltanto parzialmente. L'analisi della variabilità spaziale è stata infatti ristretta soltanto ad un livello locale, vista la grande diversità esistente nelle estensioni spaziali dei dataset mensili. La scarsa numerosità di celle ad emissione positiva di alcuni dataset ha inoltre limitato fortemente le possibilità di confronto, in quanto i semivariogrammi empirici di molti dataset sono stati "scartati" in base al criterio di soglia dell'errore. La modellizzazione dei semivariogrammi rappresenta uno strumento particolarmente complesso e, per questo, non completamente adatto al trattamento di così tante combinazioni di dati (finestra geografica, *dataset*, mese, *landcover*). L'analisi variografica richiede infatti di definire i valori di molti parametri che, teoricamente, andrebbero adattati ad hoc caso per caso.

L'applicativo *software* utilizzato nelle analisi è stato ESRI ArcGIS, già utilizzato in una fase precedente della ricerca per altre analisi statistiche sui dati di emissione di CO. Il pacchetto di *tool* di ArcGIS dedicato alle analisi geostatistiche ha il limite di essere volto sostanzialmente al *kriging* e non ad una vera analisi variografica: non permette l'utilizzo di funzioni teoriche prive di *sill*, non

consente di modellizzare in maniera completamente diversa le varie direzioni considerate e non consente di quantificare anisotropie di tipo zonale. Nonostante questo la definizione automatica di una direzione di minima e massima variabilità è stata molto utile ai fini dell'analisi, vista la numerosità dei casi.

Ciò che infine emerge dai risultati ottenuti, così come dai risultati precedenti, è la necessità di svolgere dei confronti fra i *dataset* delle aree bruciate e non delle emissioni di CO. Escludendo infatti i parametri comuni relativi alla vegetazione, le analisi si focalizzerebbero meglio sulle effettive differenze di rilievo dei diversi sensori e potrebbero quindi consentire di raggiungere più efficacemente lo scopo di comparazione necessario agli studi in questo campo, anche ai fini di un possibile miglioramento tecnologico degli strumenti disponibili per il monitoraggio delle emissioni di CO.

Riferimenti bibliografici

- Andreae M. O. e Merlet P. (2001), "Emission of trace gases and aerosols from biomass burning", *Global Biogeochemical Cycles* 15 (4): 955–966
- Bartholomé E. e Belward A. S. (2005), "GLC2000: a new approach to global land cover mapping from Earth observation data". *International Journal of Remote Sensing* 26 (9): 1959. doi:10.1080/01431160412331291297.
- Boschetti L., Brivio P. A., Eva H. D. e Grégoire J. M. (2004), "Lessons to be learned from the comparison of three satellite-derived biomass burning products", *Geophysical Research Letters* 31-L21501.
- Burrough P. A. e McDonnell R. A. (1998), *Principles of Geographical Information Systems*, Oxford.
- Carrion D., Migliaccio F., Zambrano C. (2009), "Strumenti GIS per l'analisi di dati ambientali da satellite", *Atti della 13^a Conferenza Nazionale ASITA*, 1 – 4 Dicembre 2009, Bari, pp. 625 – 630, ISBN 978-88-903132-2-6.
- Carrion D., Migliaccio F., Zambrano C. (2010a), "A comparison between free/open-source and commercial geospatial software tools, based on a case study", *Proceedings of the FOSS4G 2010 Conference*, September 6th – 9th, Barcelona (Spain), ISBN: 978-84-693-2403-5.
- Carrion D., Migliaccio F., Zambrano C. (2010b), "Mappe di emissione di CO da osservazioni da satellite: confronti fra diversi dataset in ambiente GIS", *Atti 14^o Conferenza Nazionale ASITA*, 9 – 12 Novembre 2010, Brescia, pp. 497 - 502, ISBN 978-88-903132-5-7.
- Cooke W. F., Koffi B. e Grégoire J.-M. (1996), "Seasonality of vegetation fires in Africa from remote sensing data and application to a global chemistry model", *Journal of Geophysical Research* 101 (D15): pp. 21,051-21,065. doi:199610.1029/96JD01835.
- Crutzen P.J., Heidt L.E., Krasnec J.P., Pollock W.H. and Seiler W. (1979), "Biomass burning as a source of atmospheric gases CO, H₂, N₂O, NO, CH₃Cl and COS", *Nature*, 282, pp. 253 – 256
- Generoso S., Bréon F.-M., Balkanski Y., Boucher O. e Schulz M. (2003), "Improving the seasonal cycle and interannual variations of biomass burning aerosol sources", *Atmospheric Chemistry and Physics* 3 (4): 1211-1222.
- Giglio L., Van der Werf G.R., Randerson J.T., Collatz G.J., e Kasibhata P. (2006), "Global estimation of burned area using MODIS active fire observations", *Atmospheric Chemistry and Physics*, vol. 6, pp. 957-974.
- Ito A., Penner J. E. (2004), "Global estimates of biomass burning emissions based on satellite imagery for the year 2000", *Journal of Geophysical Research*, 109, D14S05, doi:10.1029/2003JD004423.
- Jain A. K. (2007), "Global estimation of CO emissions using three sets of satellite data for burned area", *Atmospheric Environment* 41- 6931-6940.
- Ji L. e Gallo K. (2006), "An agreement coefficient for image comparison", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 72, N. 7, pp.823 – 833.

- Kasischke E. S., Hewson J. H., Stocks B., van der Werf G., Randerson J. (2003), "The use of ATSR active fire counts for estimating relative patterns of biomass burning - a study from the boreal forest region", *Geophysical Research Letters*, 30, doi:10.1029/2003GL017859.
- Michel C., Liosse C., Grégoire J. M., Tansey K., Carmichael G. R. e Woo J. H. (2005), "Biomass burning emission inventory from burnt area data given by the SPOT-VEGETATION system in the frame of TRACE-P and ACE-Asia campaigns", *Journal of Geophysical Research* 110-D09304.
- Mieville A., Granier C., Liousse C., Guillaume B., Mouillot F., Lamarque J.-F., Gregoire J.-M. e Petron G. (2010) "Emissions of gases and particles from biomass burning during the 20th century using satellite data and an historical reconstruction", *Atmospheric Environment* 44 (11) (Aprile): 1469-1477. doi: 10.1016/j.atmosenv.2010.01.011.
- Migliaccio F., Pinto L. (2009), "Experiences in the automatic validation and cross-validation of spatial datasets and raster maps", *Proceedings of the International Workshop on validation of geo-information products for crisis management - Valgeo 2009*, pp. 121 – 126. (JRC, Ispra, Italy, Nov. 23 – 25, 2009), ISBN 978-92-79-14069-3.
- Mood A.M., Graybill F.A. e Boes D.C. (1974), "Introduction to the theory of statistics", McGraw Hill, Auckland, New Zealand, 564 pp.
- Novelli P. C., Masarie K. A., Lang P. M., Hall B. D., Myers R. C. e Elkins J. W. (2003), "Reanalysis of tropospheric CO trends: Effects of the 1997–1998 wildfires", *Journal of Geophysical Research* 108 (Agosto 9): pp 14. doi:200310.1029/2002JD003031.
- Pétron G., Granier C., Khattotov B., Yudin V., Lamarque J.-F., Emmons L., Gille J. e Edwards D. P. (2004), "Monthly CO surface sources inventory based on the 2000-2001 MOPITT satellite data", *Geophys. Res. Lett.*, 31, L21107, doi:10.1029/2004GL020560.
- Raspa G. (1995), "Dispense di Geostatistica per il corso di Laurea Specialistica in Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio" <http://w3.uniroma1.it/geostatistica/Geostatistica/Geostatistica.htm>.
- Seiler W. e Crutzen P. J. (1980), "Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and the atmosphere from biomass burning", *Climatic Change* 2: 207-247.
- Stroppiana D., Brivio P. A., Grégoire J. -M, Liousse C., Guillaume B., Granier C., Mieville A., Chin M. e Pétron G. (2010), "Comparison of global inventories of CO emissions from biomass burning derived from remotely sensed data", *Atmospheric Chemistry and Physics* 10 (24): 12173–12189. doi:10.5194/acp-10-12173-2010.
- Tansey K., Grégoire J.M., Defourny P., Leigh R., Pekel J.F., Van Bogaert E. e Bartholomè E. (2008), "A new, global, multi-annual (2000–2007) burnt area product at 1 km resolution", *Geophys. Res. Lett.*, 35-L01401.
- van der Werf G. R., Randerson J. T., Collatz G. J., Giglio L., Kasibhatla P. S., Arellano A. F., Olsen S. C. e Kasischke E. S. (2004), "Continental-Scale Partitioning of Fire Emissions During the 1997 to 2001 El Niño/La Niña Period", *Science* 303 (5654) (Gennaio 2): 73 -76. doi:10.1126/science.1090753.
- van der Werf G. R., Randerson J. T., Giglio L., Collatz G. J., Kasibhatla P. S. e Arellano Jr. A. F. (2006), "Interannual variability in global biomass burning emissions from 1997 to 2004". *Atmospheric Chemistry and Physics* 6 (11): 3423-3441.
- Williams C. A., Hanan N. P., Neff J. C., Scholes R. J., Berry J. A., Denning A. S. e Baker D. F. (2007), "Africa and the global carbon cycle", *Carbon Balance and Management* 2: 3-3. doi:10.1186/1750-0680-2-3.

Il rilievo con scanner laser di edifici complessi

Nicola Milella, Marina Zonno

Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per le Tecnologie della Costruzione
Via Lembo, 38/b Bari, Tel. 080/5481265
e.mail nicola.milella@itc.cnr.it, e.mail marina.zonno@itc.cnr.it

Abstract

L'utilizzo dello scanner laser trova la sua migliore applicazione nel caso di rilievi di edifici dalle forme architettoniche complesse. Il caso esaminato è quello della Camera di Commercio di Bari (sec. XIX), edificio di grandi dimensioni, caratterizzato da prospetti scanditi orizzontalmente da cornicioni marcapiano e verticalmente da lesene, su cui si aprono finestre dotati di timpani compositi.

Laser scanning finds its worthiest application in the surveying of complex architectures. The case study described in the article is the Chamber of Commerce in Bari (19th century), a large-dimension building with stringcourses and pilaster strips on façades, enriched through composite-tympanum windows.

1. La camera di commercio di bari

La Camera di Commercio di Bari, è uno degli edifici di maggior rilievo della città, sorto all'inizio del "Borgo Murattiano"¹ nel XIX secolo.

L'edificio fu costruito per dare una sede adeguata all'istituzione che dal 1849 era preposta a sostenere e promuovere la vocazione mercantile della città.

A tale proposito fu individuata una maglia, situata all'inizio dell'odierno Corso Cavour, avente le dimensioni di mezzo ettaro, su cui realizzare l'edificio, la cui costruzione iniziò il 15 agosto del 1882 per essere completata solo cinque anni dopo, nel 1889 (fig. 1).

L'edificio è stato sottoposto nel 1982 ad un attento intervento di restauro, ristrutturazione e consolidamento statico a causa di alcuni cedimenti delle fondazioni, provocato dalle infiltrazioni della vicina falda marina.

La struttura tecnica della camera di Commercio ha previsto per il 2011 un intervento di manutenzione generale dei prospetti, che in più punti sono interessati dal degrado degli intonaci.

A tal fine è stato richiesto all'ITC di Bari l'esecuzione del rilievo dei quattro prospetti, al fine di adeguare la documentazione tecnica in possesso della Camera di Commercio, oggi rappresentata da documenti cartacei redatti con tecniche tradizionali, spesso imprecisi ed approssimati.



Figura 1 – Camera di Commercio in una foto d'epoca dell'inizio del XX secolo.

¹ Per Borgo Murattino si intende l'espansione ottocentesca della città di Bari avvenuta al di fuori della cinta fortificata a partire dal 1813.

2. Il rilievo con lo scanner laser

L'esecuzione del rilievo è stata preceduta da un'attenta verifica dello stato dei luoghi e delle condizioni operative, a cui si sono dovute adeguare le operazioni di rilievo, per la particolare collocazione fisica dell'edificio. Infatti, l'edificio è circondato su tre lati da alberi ad alto fusto, che ostruiscono in parte la visuale dei prospetti, inoltre a causa della collocazione vicino al mare, non vi sono edifici prospicienti utilizzabili per l'esecuzioni di riprese ad una quota diversa da quella stradale (fig.2). Tale difficoltà è stata superata in parte dalle caratteristiche innovative dello strumento in dotazione al Laboratorio di Rilievo Architettonico dell'ITC di Bari, un Riegl VZ 400 unica apparecchiatura che in questo momento, basa il calcolo della distanza non più mediante l'analisi di un segnale di tipo analogico, ma bensì sull'analisi di un onda di tipo digitale.

3. La tecnologia dei distanziometri digitali

Infatti, se esaminiamo il comportamento di un singolo impulso laser, di tipo analogico, questi si propaga nello spazio sino a raggiungere la superficie del corpo da rilevare ove viene riflesso per ritornare sul sensore dopo un tempo pari a Δt .

La misura di distanza viene calcolata misurando, mediante un convertitore tempo tensione, il tempo di volo dell'impulso per percorrere in andata e ritorno la distanza tra sensore e segnale.

Considerando che la riduzione dell'intensità del segnale di ritorno dipende da due fattori, ovvero l'assorbimento dell'atmosfera durante il tempo di volo e dalla diffusione che il segnale subisce dopo l'impatto con la superficie, un'eccessiva riduzione del segnale fa sì che questi non venga registrato, con conseguente perdita di informazioni.

Nel caso del segnale digitale l'onda emessa e quella riflessa sono digitalizzate permettendo l'analisi dell'onda in modo numerico mediante specifici algoritmi.

Pertanto non è più necessaria una soglia minima per analizzare gli impulsi entranti. Inoltre l'analisi matematica del raggio laser è molto più veloce di quella analogica, permettendo una velocità di acquisizione sino a 125.000 punti rispetto ai 20.000 del segnale analogico.

Il segnale laser analogico è affetto da divergenza spaziale, questo comporta che allontanandosi dal punto di emissione il raggio si espande, può colpire più oggetti e nella fase di riflessione crei più fasci (che sta a significare che, man mano che il fascio di luce laser si allontana dal punto di emissione, si espande e quindi è possibile che in questa fase colpisca più oggetti e venendo riflesso crei più fasci di luce riflessa.)

Questo accade in presenza di vegetazione o in corrispondenza dei bordi delle superfici da rilevare.

I distanziometri analogici, montati su sensori laser classici, non sono in grado di leggere tutti gli impulsi ed in genere misurano il primo e l'ultimo impulso entrante.

Nel caso dei sensori ad analisi digitale è possibile analizzare in modo completo l'onda entrante, mediante la memorizzazione di tutti gli impulsi.

Questa caratteristica ha permesso, nel caso della Camera di Commercio, un incremento di informazioni pari al 30% rispetto all'utilizzo di uno scanner laser dotato di distanziometro analogico.



Figura 2 – Un esempio di condizione operativa con scanner laser Riegl Vz-400.

4. L'esecuzione del rilievo

L'esecuzione del rilievo, realizzato in tre giorni, ha richiesto l'esecuzione di quattro stazioni per lato, integrate da una stazione con asse diagonale rispetto alla pianta per ogni spigolo dell'edificio, per complessive venti stazioni (fig.3).

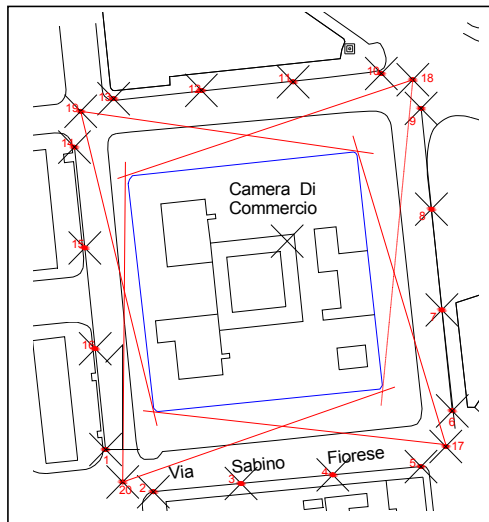


Figura 3 – Schema delle riprese effettuate.

Sul prospetto ed intorno all'edificio si è provveduto al posizionamento di numerosi target secondo il criterio della loro visibilità in tutte le riprese effettuate, al fine di permettere, nella fase di elaborazione, la giunzione delle nuvole di punti (fig. 4).



Figura 4 – Target adesivi utilizzati per la giunzione delle nuvole di punti.

Ogni ripresa è stata caratterizzata dalla scelta di un passo di scansione pari a 6 mm, che è stato considerato soddisfacente sia a descrivere con completezza la complessità dell'edificio sia alla creazione di modelli 3D di dimensioni adeguate alle prestazioni dei computer utilizzati per la loro elaborazione (fig. 5).

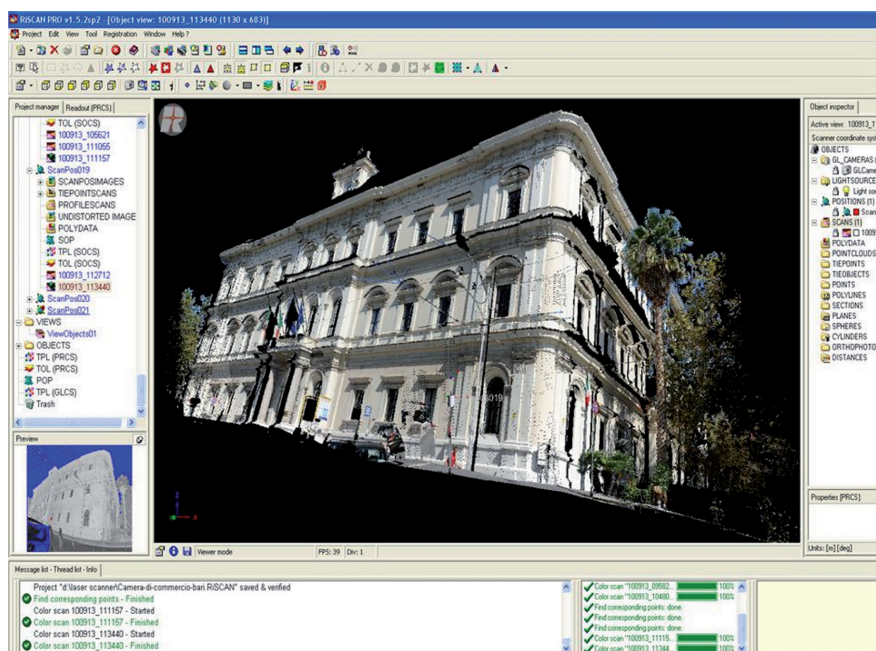


Figura 5 – Prospetto ovest : nuvole di punti associata al colore RGB.

In alcuni casi, si è scelto un passo di scansione più fitto, per descrivere con maggiore precisione la complessità di alcune decorazioni architettoniche come ad esempio l'orologio ed i timpani situati sulle finestre (fig 6).

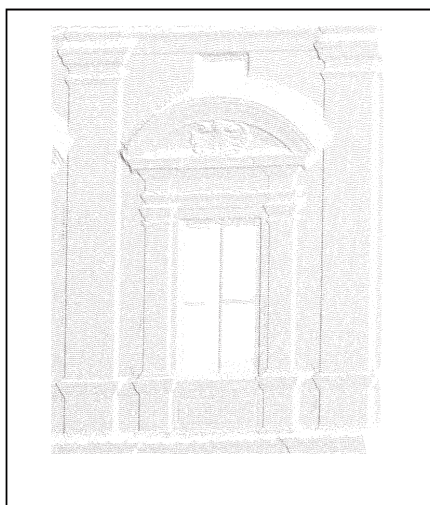


Figura 6 – Rappresentazione a passo stretto di una della finestre con nuvola di punti.

5. Gli elaborati finali

Dalla elaborazione delle nuvole di punti, effettuata con il software Riscan Pro vers.1.5.3b13, si sono ottenuti i rilievi vettoriali dei quattro prospetti, restituiti in scala 1:100 ed 1:50 (fig. 7a).

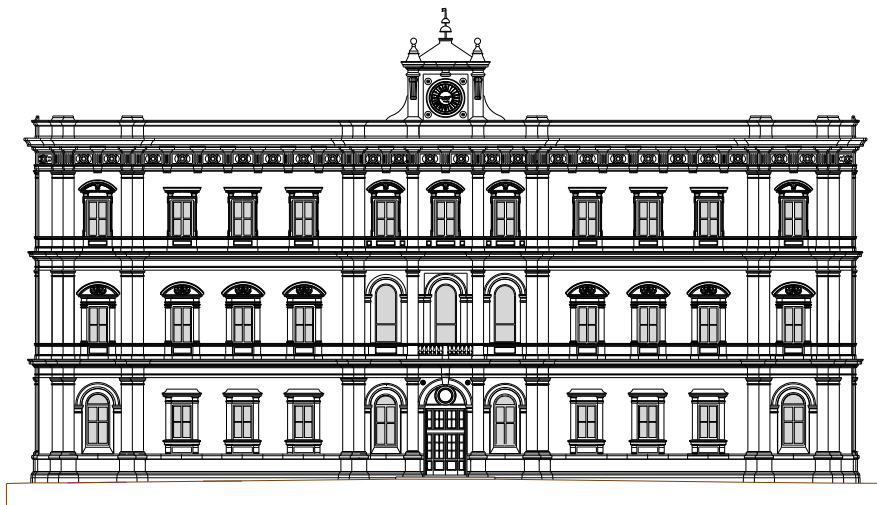


Figura 7a – Restituzione vettoriale del prospetto ovest.

Inoltre, su richiesta dei committenti, al fine di descrivere la complessità architettonica, rappresentata dalla presenza di cornicioni, lesene e finestre decorate, si sono restituite per ogni prospetto anche cinque sezioni trasversali e cinque sezioni verticali (fig.7b).

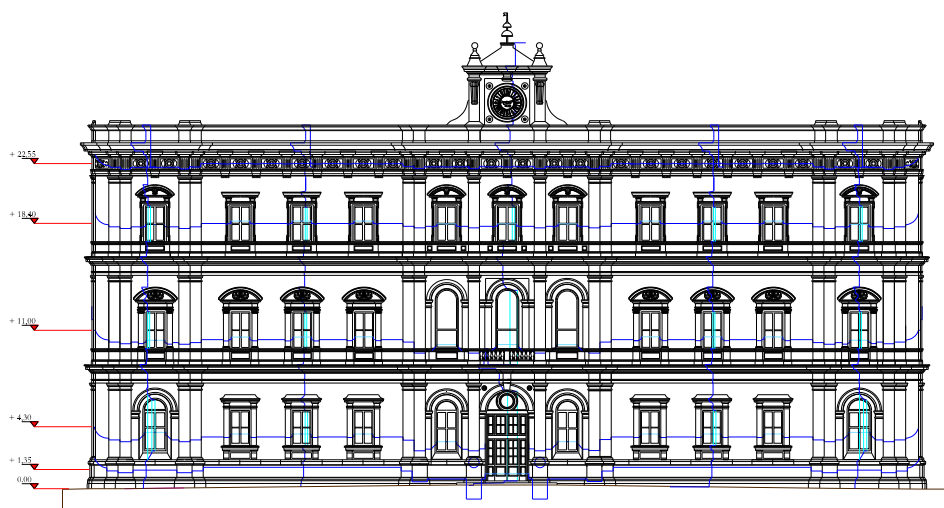


Figura 7b – Restituzione vettoriale del prospetto ovest con l'indicazione delle sezioni orizzontali e verticali.

A completamento del lavoro, per quanto riguarda la morfologia dei materiali in opera ed il loro livello di degrado, sono in corso di avanzata elaborazione i fotopiani digitali dei quattro prospetti (fig. 7c).



Figura 7c – Particolare del fotopiano del prospetto ovest.

Il rilievo mediante scansione laser degli insediamenti rupestri

Nicola Milella, Marina Zonno, Salvatore Capotorto

Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per le Tecnologie della Costruzione

Via Lembo, 38/b Bari, Tel. 080/5481265

e.mail nicola.milella@itc.cnr.it, e.mail marina.zonno@itc.cnr.it, e.mail salvatore.capotorto@itc.cnr.it

Abstract

Il fenomeno delle chiese in grotta si sviluppa in Puglia tra il X ed il XII secolo, coinvolgendo quasi tutto il territorio regionale. Questo immenso patrimonio culturale conserva al suo interno la maggior parte delle testimonianze pittoriche del medioevo pugliese.

Si tratta di organismi architettonici, scavati all'interno di banchi di calcarenite, la cui collocazione è in gran parte al di fuori dei centri urbani. Solo una parte di essi è stata recuperata e tutelata, lasciando al degrado ed al rischio di distruzione la restante parte.

A tutt'oggi, non è stata realizzata una campagna di rilevamento di tutto il patrimonio degli insediamenti in grotta. Pertanto in attesa di realizzare interventi di tutela attiva è auspicabile almeno la realizzazione di una tutela virtuale, basata su una moderna documentazione grafica e fotografica. Gli insediamenti in grotta per loro natura, sono tra i più difficili da rilevare e rappresentare, per la forma irregolare e per le modeste dimensioni.

Questo contributo illustra l'utilizzo dello scanner laser e le modalità operative adottate, per il rilievo di tre chiese in grotta situate nei territori di Monopoli, Fasano e Mottola rispettivamente in provincia di Bari e Taranto.

1. La civiltà rupestre

Il fenomeno della civiltà rupestre ha interessato l'intera Italia Meridionale, continentale e insulare dal VI al XIII secolo d.C., con due distinti periodi di maggiore sviluppo: il primo inquadrabile nella prima metà del X secolo (seconda colonizzazione bizantina) e il secondo tra la fine dell'XI secolo e il XIII secolo (periodo Normanno).

Vivere in grotta. Questa particolare scelta abitativa (alternativa, e non subalterna, all'insediamento subdiviale) è da collegare al periodo storico che la Puglia attraversava in quel momento: la crisi delle strutture statali dopo la caduta dell'Impero Romano d'Occidente, il progressivo declino delle città, l'esigenza di difesa dalle continue e ripetute invasioni e scorrerie. Inoltre le cave naturali delle lame e la tenerezza della roccia tufacea ha facilitato l'attività di scavo e la conseguente formazione di villaggi.

Una distinzione evidente riguarda quella tra insediamenti monastici e civili.

Quelli di tipo monastico, di solito non molto estesi, sono articolati a seconda della caratterizzazione del monachesimo che va dall'anacoretismo al cenobitismo; mentre gli insediamenti civili sono complessi più vasti, con un numero consistente di ambienti scavati, molti dei quali composti di più vani e con una serie di attrezzature comuni (sistema viario, pozzi, cisterne, canalizzazioni, scale).

L'ambiente più importante di tutto l'insediamento rupestre è la chiesa che va dalla pianta più semplice di forma quadrata con l'aggiunta di vani come absidi e nicchie, sino a planimetrie molto più complesse. Al loro interno è custodito un reale patrimonio pittorico. Numerosissimi sono gli affreschi che riproducono immagini di santi, la cui agiografia dimostra una fusione di temi da aree culturali differenti, che spaziano dall'oriente all'occidente.

2. Gli insediamenti oggetto di studio

Le tre chiese in grotta, oggetto di studio, rispondono ai canoni prima descritti, e sono sia per la tipologia che la preziosità degli affreschi gli esempi più importanti tutt'ora esistenti nel territorio pugliese.

I tre insediamenti rupestri sono situati, nei territori di Monopoli, Fasano e Mottola rispettivamente in provincia di Bari e Taranto, in area extraurbana.

Essi sono rispettivamente:

1. La chiesa di San Nicola a Mottola, risalente ad un periodo compreso tra l'VIII ed il IX secolo;
 2. la chiesa del villaggio rupestre di Lama d'Antico situata nel territorio di Fasano, risalente ad un periodo compreso tra l'XI ed il XII secolo;
 3. La chiesa dei Santi Andrea e Procopio, situata nel territorio di Monopoli, risalente all'XI secolo.
- La struttura dei tre manufatti è ricavata all'interno di banchi tufacei di calcarenite, e ripete in pianta la forma di edifici bizantini esistenti un tempo all'interno dei centri storici pugliesi.

In quest'articolo si tratterà solo di uno dei tre insediamenti rupestri e rispettivamente la chiesa di San Nicola a Mottola, illustrando le modalità di esecuzione del rilievo che hanno tenuto conto sia delle caratteristiche tecniche dello strumento a disposizione: un Riegl VZ 400 che della morfologia del manufatto.

3. La chiesa rupestre di San Nicola

A sud est di Mottola (Taranto), in località "Gorgone", presso la masseria di "Lamaderchia" lungo l'antica via Consolare che rappresentava un diverticolo medioevale della via Appia, sorge la chiesa rupestre di San Nicola.

La Bellezza dei suoi affreschi, restaurati per la prima volta nel 1972 ed infine nel 1989, l'hanno fatta definire la Cappella Sistina della civiltà rupestre nel Meridione di Italia.

In verità, in questa chiesa rupestre ci troviamo di fronte alla più completa e stupefacente pinacoteca dell'arte sacra popolare pugliese, che riesce ad evidenziare compiutamente le testimonianze degli svariati influssi teologici ed artistici di marca orientale e latina, a cavallo di quasi quattro secoli di Medioevo.

La chiesa si trova sul ciglio della gravinetta ed è possibile accedervi attraverso scale ricavate nella roccia ed adattate dalla recente struttura in ferro predisposta dalla Soprintendenza ai monumenti della Puglia..

Una lunetta a doppia ghiera sormonta la porta della cripta e su di essa sono visibili tracce di decorazione dipinta di una figura nimbata a mezzo busto.

Una grande nicchia erosa occupa, la facciata esterna a

sinistra, mentre in alto a destra si nota una calotta affrescata e sovrastante una tomba ad arcosolio, resto di un insediamento funerario medioevale che mostra anche le tracce di altre tombe,

Quello di San Nicola si può definire un santuario ipogeo del tipo a croce inscritta, diviso in tre navate di due campate a mezzo di due massicci pilastri (fig.1).

Si tratta di un invasco a croce latina con sviluppo longitudinale e presenta una netta divisione tra aula o *naos* e presbiterio o *bema*, ancora oggi definita dai resti bene conservati di quella che era l'originaria iconostasi, tipica dello schema bizantino, segnata dai *cancella* (fig.2).

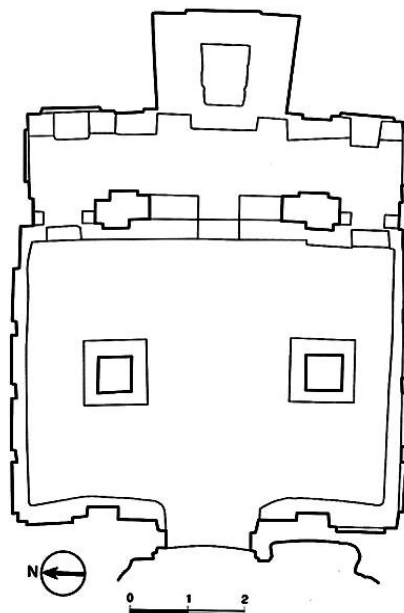


Figura 1 – Chiesa rupestre di San Nicola: planimetria.



Figura 2 – Affresco del Cristo Pantocrator inj Deesis.

Il *naos*, ovvero lo spazio del tempio destinato ai fedeli, è diviso in tre navate di cui la centrale risulta il doppio di quelle laterali, che secondo alcuni studiosi potrebbero essere state scavate in un secondo momento; tutto intorno all'aula, lungo le pareti e alla base dei pilastri corrono i subsellia (sedili), alti per lo più 40 cm.

Altri elementi che caratterizzano l'invaso sacro sono la decorazione delle pareti laterali ornate con dodici *stasidia* (nicchie) incavate nella roccia e con ghiera; l'ampiezza del varco iconostatico; l'abside rettangolare piatto sul fondo con resti di altare di tipo greco monolitico e i due altari di tipo latino addossati alle absidiole laterali nel bema, la *prothesis* ed il *diaconicon*; il soffitto con coperture estremamente variabili (tetto a *doppia falda*, volta semicilindrica a *tholos* e a *vela*), il presbiterio che ha profondità pari alla lunghezza delle navatelle laterali.

4. Il rilievo mediante scansione laser

Per l'esecuzione del rilievo si scelta la tecnica della scansione laser, unica in grado di descrivere con precisione la forma irregolare del manufatto derivante dalla tecnica costruttiva utilizzata: lo scavo all'interno di un banco tufaceo. Lo scanner laser utilizzato è un Riegl VZ 400, di cui si è recentemente dotato il laboratorio di Rilievo Architettonico dell'ITC-CNR di Bari (fig. 3)



Figura 3 – Una fase del rilievo: la posizione dello strumento rivela le dimensioni esigue della grotta.

Lo strumento ha mostrato anche in questo caso i vantaggi derivanti dalla tecnologia digitale e tra questi la maggiore leggerezza e quindi la più comoda trasportabilità, rispetto ai modelli analogici, aspetto non di secondaria importanza, nel caso di insediamenti rupestri, situati al di fuori dei centri urbani, in zona agricola, quasi sempre non raggiungibili da strade o tratturi.

Le ridotte dimensioni del manufatto, circa 35 mq, e la necessità di evitare di danneggiare gli affreschi, ha consigliato di fare a meno dei target adesivi, necessari per una corretta e precisa giunzione delle scansioni .



Figura 4 – Veduta della zona absidale.

Per ovviare a questo problema si è impostato lo strumento con un passo pari a 0,08 gradi, corrispondente ad un punto ogni 14 cm a 100 metri. Considerando che il punto centrale della grotta era ad una distanza media dalle pareti di circa tre metri si sono ottenute nuvole di punti con un passo medio pari a 0,42 mm. L'intero rilievo ha richiesto l'esecuzione di sedici stazioni, di cui solo quindici effettivamente utilizzate. La giunzione dei modelli, effettuata utilizzando il software in dotazione il Riscan Pro vers.1.5.3b13, è stata agevole, pur in assenza dei target a causa delle dimensioni ridotte del manufatto ed il passo molto stretto della nuvola di punti (fig. 5).



Figura 5 – Modello a nuvola di punti associato al colore RGB.

L'errore di deviazione è stato pari a $\pm 1\text{mm}$.

Il modello finale è stato ottenuto partendo dalla scansione effettuata sull'asse longitudinale del manufatto, a cui sono state giuntate in sequenza le successive eseguite in senso orario.

Il peso dei modelli ottenuti non ha superato 1gigabyte .

L'elaborazione finale si è limitata alla realizzazione di un modello 3D, secondo le richieste della committenza (fig. 6).

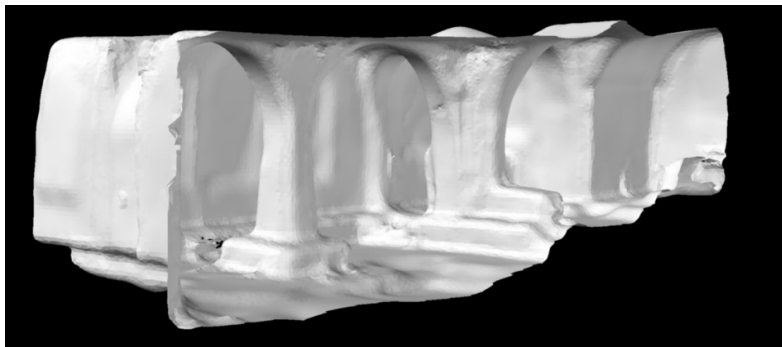


Figura 6 – Rendering di metà modello 3D della grotta.

Bibliografia

1. Allen, E. (1984) Pietre di Puglia: dolmen, trulli e insediamenti rupestri, Bari , Adda Editore.
2. Fonseca, C. D. (1988) Civiltà delle grotte: Mezzogiorno rupestre, Napoli Edizioni del sole.
3. Di Benedetto, D. (1990) Guida bibliografica di cripte e insediamenti rupestri della Puglia, Bari, Levante.
4. N. Milella, M. Zonno, La scansione laser per il rilievo di edifici danneggiati da sisma, *L'Edilizia "Speciale ITC 2009, Ricerca e Sperimentazione"* estratto dalla rivista n.161/2009", Editrice De LETTERA, 2004– ISSN:1826-4204
5. N. Milella, M. Zonno, Scansione laser – Il rilievo dei centri urbani, articolo pubblicato nella rivista *"Recupero e conservazione"* estratto dalla rivista n.66/2004", Editrice De LETTERA, 2004– ISSN:1826-4204

Cartografia operativa in supporto alle emergenze

Manuela Milli, Massimiliano Nannini

Istituto Idrografico della Marina, Passo all'Osservatorio 4, 16100 Genova
Tel. +39 0102443342, Fax +39 010261400
e-mail manuela_milli@marina.difesa.it, massimiliano.nannini@marina.difesa.it

Riassunto

Di fronte alla complessità della situazione geopolitica che recentemente ha coinvolto i Paesi che si affacciano sul Mediterraneo, l'Istituto Idrografico della Marina è stato chiamato ad esercitare un importante ruolo di supporto geospaziale alle nostre Forze Armate e a tutte quelle organizzazioni nazionali ed internazionali che a vario titolo partecipano alle operazioni.

Oltre ai conflitti regionali che coinvolgono i Paesi dell'area magrebina, i conseguenti flussi migratori costituiscono una delle maggiori sfide per la stabilità internazionale. Le principali direttrici di spostamento, si sviluppano proprio negli spazi marittimi assumendo connotati di emergenza umanitaria che rendono quanto mai complessa la gestione di questo fenomeno. L'esigenza di disporre di una cartografia il più possibile completa e aggiornata delle aree di interesse operativo determina la necessità di fornire tempestivamente supporti informativi adeguati, realizzati al di fuori degli standard previsti dalle norme internazionali e del normale flusso produttivo della cartografia nautica ufficiale.

Nella produzione di cartografia operativa è stato fatto uso di immagini satellitari e ortofoto integrate con recenti dati batimetrici ad alta risoluzione che hanno permesso la costruzione di prodotti specifici. In particolare sono state fornite elaborazioni dell'area libica e dell'isola di Lampedusa.

Abstract

Facing the complexity of the geopolitical situation which recently has involved the countries bordering the Mediterranean, the Italian Hydrographic Office of the Navy was called to perform an important role of geospatial support to our Armed Forces and to all the National and International Organizations who, for various reasons, participate to the operations.

In addition to regional conflicts involving the countries of the Maghreb, the resulting migration flows constitute a major challenge to international stability. The main directions of movement, develop their own maritime spaces in taking emergency humanitarian connotations that make it extremely complex to manage this phenomenon.

The need for mapping the most complete and updated areas of interest determines the operational need for timely provision of appropriate information support, made outside of international norms and standards set by the normal production flow of official navigational charts.

Operating in the production of maps was made use of satellite images and orthophotos integrated with recent high-resolution bathymetric data allowed the construction of specific products. In particular we have provided elaborations of Libya and Lampedusa Island.

Introduzione

L'Istituto Idrografico della Marina è stato chiamato ad esercitare un importante ruolo di supporto geospaziale alle nostre Forze Armate e a quelle organizzazioni nazionali ed internazionali che a vario titolo partecipano agli interventi e alle operazioni in atto in aree di interesse strategico.

Di fatto, l'attività idrografica svolta dall'Istituto Idrografico della Marina in tali aree, ha come obiettivo principale proprio il miglioramento delle conoscenze topografiche e idro-oceanografiche.

I dati acquisiti in queste particolare zone sono principalmente finalizzati ad eventuali interventi nell'ambito di missioni internazionali allo scopo di garantire la sicurezza nazionale o a supportare emergenze umanitarie. Allo stesso tempo, le attività idrografiche svolte mostrano, nell'ambito dell'*International Hydrographic Organization* (IHO) un incremento della politica di cooperazione con le nazioni rivierasche del bacino del Mediterraneo.

I prodotti realizzati, consistono prevalentemente in elaborazioni morfologico-batimetriche dell'area portuale di Tripoli e dell'area portuale e costiera di Lampedusa. Si tratta di cartografia operativa, costruita al di fuori delle norme e degli standard internazionali previsti per la tradizionale cartografia nautica. Nell'esecuzione dei rilievi idrografici per contro, la strumentazione e le modalità di esecuzione hanno garantito il rispetto delle norme previste dall'IHO.

Aree di interesse e dati acquisiti

Nel 2005, lungo il litorale della costa libica, nei pressi e all'interno dell'area portuale, è stata materializzata una rete di punti per l'esecuzione di misure geo-topografiche. Successivamente, nel 2007 sono stati realizzati da Nave Galatea rilievi idrografici *multibeam* della stessa area (Fig. 1). L'impiego del sistema DGPS e l'uso del sistema *multibeam* EM3000 hanno permesso di attribuire al rilievo l'ordine 1A previsto dagli standard internazionali dell'IHO.

In fase di esecuzione dei rilievi sono stati percorsi 966.7 km con rotte il più possibile parallele all'andamento delle batimetriche, in modo da ottenere una copertura della fascia esplorata costante. La superficie coperta è pari a circa 62 km².

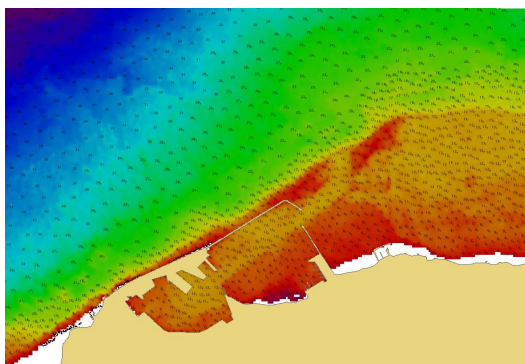


Figura 1 – Rilievi multibeam del porto di Tripoli.

Il rilievo del porto di Lampedusa è stato realizzato nel Luglio 2009 (Fig. 2).

I dati di fondale sono stati acquisiti con il sistema *multibeam* Kongsberg EM 3002 a 300 kHz. È stata utilizzata la massima apertura angolare di 128°, che utilizza tutti i 160 *beam* disponibili; la distanza tra le linee di scandagliamento è stata definita in modo tale da garantire una sovrapposizione tra le linee del 50% circa. Il *footprint* al centro della strisciata è pari circa a 56 cm. Questa modalità di acquisizione dei dati, ha permesso la verifica di eventuali anomalie batimetriche sia in fase di acquisizione che in *post-processing* e di rilevare tutti i minimi idrografici significativi. L'accuratezza dei dati forniti rientra nell'ordine 1A previsto per il rilievo portuale.

Il litorale dell'isola di Lampedusa è stato rilevato utilizzando sia sistemi *singlebeam* tradizionali, sia sistemi *multibeam*. Nell'esecuzione del rilievo *singlebeam*, eseguito in scala 1:5.000, è stato utilizzato l'ecoscandaglio Kongsberg EA 400 mentre nell'esecuzione del rilievo *multibeam* è stato utilizzato l'ecoscandaglio Kongsberg EM 3002. In presenza di elementi morfologici di particolare interesse per la sicurezza alla navigazione, riscontrati nell'area di copertura dei rilievi *singlebeam*, sono state eseguite ulteriori linee di scandagliamento in scala 1:2.500 e linee *multibeam* idonee a fornire un'adeguata caratterizzazione dell'area investigata.

La strumentazione utilizzata in fase di acquisizione dati, ha permesso di attribuire al rilievo l'ordine 1B come previsto dagli standard per rilievi idrografici dell'IHO.

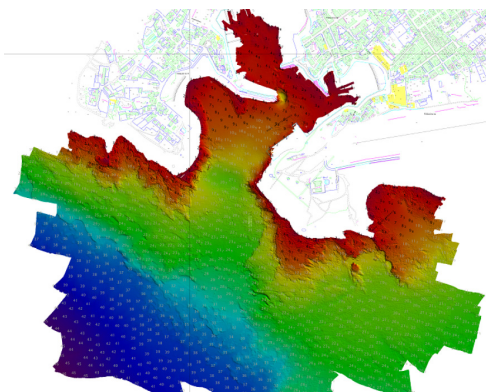


Figura 2 – Rilievi multibeam del porto di Lampedusa.

Elaborazione dati

La complessa situazione geopolitica che ha interessato la costa libica e l'isola di Lampedusa, non ha consentito in tempi brevi, l'elaborazione dei dati acquisiti e la generazione di prodotti conformi alle norme cartografiche internazionali previste sia per la produzione di cartografia nautica tradizionale che per la produzione delle ENC (*Electronic Navigational Chart*). È stato necessario pertanto realizzare prodotti *ad hoc* il cui utilizzo è riservato alle organizzazioni che a vario titolo partecipano agli interventi e alle operazioni in atto nelle aree precedentemente indicate.

La carta del porto di Tripoli in scala 1:5.000 (Fig. 3) è stata realizzata utilizzando i dati idrografici precedentemente descritti previa correzione della velocità del suono e dell'effetto della marea. Le elaborazioni sono state realizzate attraverso l'utilizzo del *software* Caris BDB che ha consentito uno sfoltimento dei dati, allo scopo di evidenziare quei fondali di maggior interesse nella navigazione, la generazione delle isobate e delle aree di profondità. Per la rappresentazione della superficie emersa sono state utilizzate immagini satellitari *Quickbird* fornite dalla società *e-geos* con risoluzione al suolo pari a 0.6 m.

Le elaborazioni morfo-batimetriche sono state associate a strati informativi aggiuntivi di tipo militare allo scopo di produrre AML (*Additional Military Layers*), prodotti standard contenenti dati geospaziali per applicazioni militari. In particolare, la carta riportata in Fig.3 è stata costruita estraendo dal corrispondente AML il livello contenente informazioni sulla profondità del fondale sotto forma di punti, linee ed aree denominato *Contour Line Bathymetry* (CLB).

La carta prodotta, pertanto, pur assicurando una corretta individuazione di tutti gli elementi morfo-batimetrici che caratterizzano il fondale marino, non contiene quelle informazioni presenti nella cartografia nautica ufficiale quali *navigational aids* (fari, fanali, boe, mede, punti cospicui), aree regolamentate, cavi, condutture, relitti e informazioni accessorie che garantiscono la sicurezza alla navigazione.

Inoltre, nelle elaborazioni morfo-batimetriche realizzate vengono ovviamente trascurati i processi di generalizzazione e codifica degli elementi rappresentati.

I dettagli riportati in Fig. 4 evidenziano nel riquadro A l'elaborazione riportata nella carta operativa prodotta e nel riquadro B la rappresentazione prevista per cartografia nautica ufficiale secondo la normativa internazionale dell'IHO. Tale aspetto, è di particolare importanza sia nella produzione di carte nautiche tradizionali che elettroniche per facilitare la lettura del contenuto grafico della carta e consentirne un adeguato utilizzo da parte del navigante nell'una e per il corretto funzionamento

degli apparati ECDIS (*Electronic Chart Display and Information System*) presenti a bordo nell'altra.



Figura 3 – Cartografia operativa del porto di Tripoli.

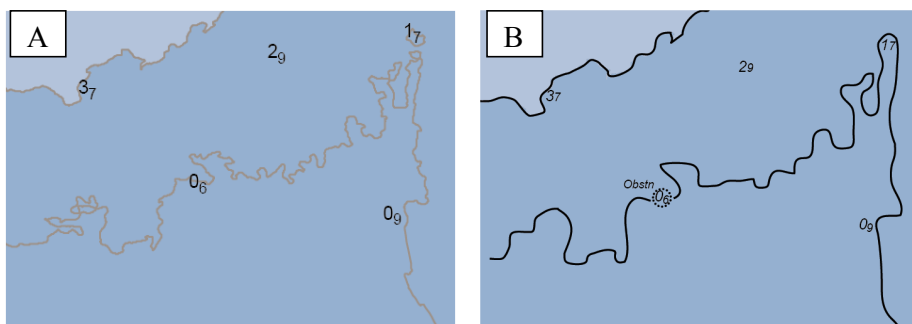


Figura 4 – Particolare della Fig.3.

Le modalità di costruzione della carta dell'isola di Lampedusa sono molto simili a quanto precedentemente indicato per l'area portuale di Tripoli. La carta è stata realizzata in scala 1:10.000 (Fig. 5) e per rappresentare la superficie emersa sono state utilizzate ortofoto fornite dalla Regione Sicilia con risoluzione al suolo pari a 1 m.

In questo secondo caso durante la campagna di acquisizione dei dati idrografici è stato più facile reperire ulteriori informazioni presso gli enti preposti e rappresentare tali dati anche in una cartografia di tipo speditivo.

Nel dettaglio riportato in Fig. 6 sono stati evidenziati con la simbologia corrispondente a *foul ground* (riquadro A) aree non pericolose per la navigazione ma che comunque sono da evitare in caso di ancoraggio o pesca a strascico. In realtà, in una più completa rappresentazione finalizzata a cartografia nautica ufficiale, conoscendo la natura degli oggetti presenti sul fondo marino tali elementi sarebbero stati codificati come previsto dalle norme internazionali, specificando che si tratta di allevamenti ittici tramite la corrispondente simbologia (riquadro B).

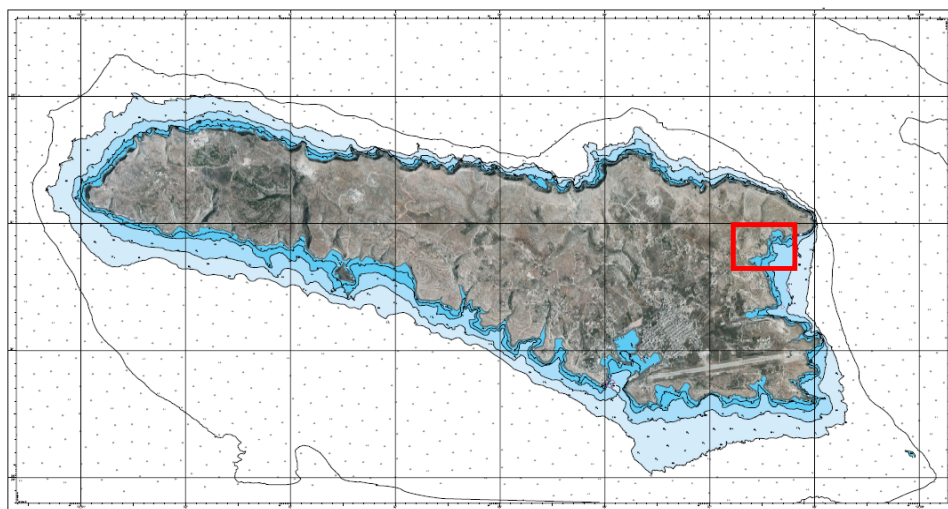


Figura 5 – Cartografia operativa dell'isola di Lampedusa.

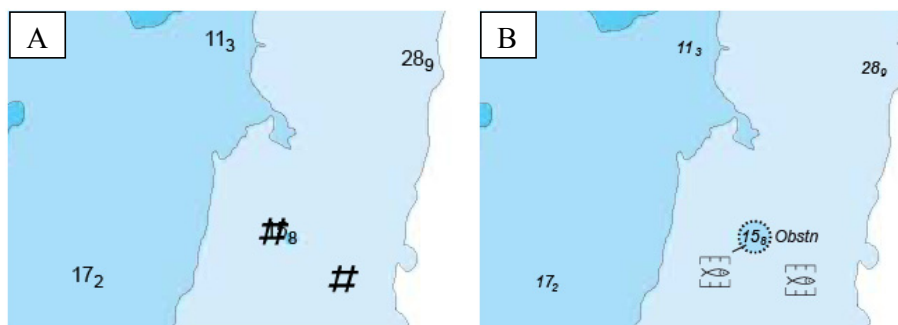


Figura 6 – Particolare della Fig. 5.

Conclusioni

Produrre cartografia a supporto delle operazioni è stato sicuramente un lavoro estremamente interessante sia dal punto di vista del produttore che dell'utente finale.

In particolare, dal punto di vista produttivo, l'esperienza è stata particolarmente significativa in quanto sono state messe in campo tutte le esperienze dell'Istituto; sono stati elaborati dati provenienti da diverse fonti (rilievi single-beam e multibeam, ortofoto e immagini satellitari ad alta risoluzione) utilizzando *tools* GIS di ultima generazione per realizzare il *merging* di grandi quantità di dati in tempi molto brevi.

Dal punto di vista dell'utente, vale la pena ricordare che questi prodotti sono stati forniti in tempo reale alle Forze Armate Italiane e a tutte quelle Organizzazioni Umanitarie che hanno operato e continuano ad operare nelle aree di crisi. L'impiego di questa cartografia è risultato particolarmente efficace a Lampedusa per la gestione "sbarchi" e a Tripoli per una serie di attività sia umanitarie che militari come il rimpatrio dei nostri connazionali e l'evacuazione dell'Ambasciata Italiana.

Bibliografia

- AA. VV. (2006): Gli imperi del mare. Limes, Rivista Italiana di geopolitica. N.4 Gruppo editoriale L'Espresso.
- International Hydrographic Organization (2000): IHO Transfer Standard for Digital Hydrographic Data, Special publication n. 57 – Edition 3.1
- International Hydrographic Organization (2008): IHO standards for hydrographic surveys. Special publication n. 44 – 5th Edition.
- International Hydrographic Organization (2008): Manual on hydrography. Publication M-13. Monaco 2005.
- International Hydrographic Organization (2011): Regulations of the IHO for international (INT) charts and chart specifications of the IHO. S-4 Ed. 4.1.0
- Nave idro-oceanografica Galatea (2007): Relazione tecnica rilievi porto e litorale di Tripoli.
- Nave idro-oceanografica Ammiraglio Magnaghi (2009): Relazione tecnica rilievi porto e litorale di Lampedusa.

Archivio cartografico online del Comune di Bologna: nuove tecnologie e nuove procedure per il recupero dello storico

Andrea Minghetti, Paola Africani, Elena Ferrari,
Luca Lorenzini, Elisa Paselli

SIT, Comune di Bologna, Piazza Liber Paradisus 10, Bologna
Tel. 051/2194019, Fax 051/2194027, sitadmin@comune.bologna.it

Riassunto

Il SIT del Comune di Bologna, ormai da anni, ha attivato un progetto per il recupero digitale e la valorizzazione del suo vasto patrimonio storico (cartografie, piani urbanistici e voli aerei) allo scopo di preservarlo dall'usura legata alla consultazione del cartaceo e di renderlo fruibile al maggior numero di utenti possibile (presso gli uffici comunali o in remoto attraverso internet).

Un accurato lavoro di analisi e di catalogazione del materiale dell'archivio cartografico ha portato alla creazione di un'interfaccia web che guida l'utente, attraverso pochi semplici passaggi, ad individuare tra le risorse disponibili quelle di suo interesse e le modalità di consultazione utilizzabili nello specifico.

Le ultime tecnologie per la pubblicazione di mappe via web (ArcGIS Server 9.3 e ArcGIS JavaScript API della Esri) hanno portato alla rivisitazione inevitabile dell'esistente applicazione web di visione comparata dell'archivio cartografico, dal 2004 sul sito del SIT.

Altre migliorie sono state apportate indirettamente all'applicazione web mettendo a disposizione del pubblico di internet anche i più recenti prodotti digitali acquistati dall'Amministrazione.

Attraverso nuove procedure automatiche, disponibili con il modulo LPS (Leica Photogrammetry Suite) di Erdas Imagine 2011, distribuito dalla Planetek Italia S.r.l., è stato possibile mosaicare e bilanciare un elevatissimo numero d'immagini ortorettificate ad alta risoluzione in tempi ridotti (librerie Pictometry® di circa 20.000 immagini per ogni volo).

Abstract

The SIT of Bologna Municipality started, some years ago, a project of digital the recovery of the rich historical photogrammetric and cartographic archives in order to protect them and to make them accessible to as many users as possible (via web or at the municipal offices).

Thanks to an analysis and a classification of the archives, the SIT unit created a web interface which guide the user through a few simple steps to identify, among the available resources, which of interest and how to view them.

The latest available technologies for publishing maps services (ArcGIS Server 9.3 and ArcGIS JavaScript API from Esri) led to a restyling of the existing web application. With the web application the users can examine the archive documentation by means of a "parallel" vision.

The latest digital products bought by the Administration have been added to the web application.

The Pictometry® high resolution orthorectified images (approximately 20.000 for every year) were mosaicated with the Erdas Imagine 2011 module LPS (Leica Photogrammetry Suite), distributed by Planetek Srl.

Introduzione

I tecnici esterni ed interni all'Amministrazione, così come i cittadini, sono da sempre interessati a consultare le foto aeree e le mappe (storiche e non) disponibili presso il Comune per molteplici

motivi: analizzare le trasformazioni territoriali, rilevare la presenza o l'assenza di un fabbricato, accertare la presenza di un abuso edilizio, effettuare ricerche storiche sui toponimi, etc.

Per ridurre il numero sempre più crescente di tali utenti presso gli uffici comunali, diminuire i tempi d'attesa per la consultazione, preservare la documentazione dall'usura e permettere la fruizione in tempi brevi dei nuovi prodotti digitali nella loro continuità spaziale, l'unità SIT ha deciso di migliorare il servizio di accesso all'archivio cartografico già da anni esistente (Minghetti et al., 2004) mediante tre principali azioni che saranno descritte di seguito.

L'archivio cartografico del Comune di Bologna

Un lavoro di analisi del patrimonio storico cartografico e fotografico conservato presso il Comune di Bologna ha permesso di recuperare una serie di informazioni utili ad agevolarne e migliorarne la consultazione. Tale analisi, tradotta in una pagina web sul sito del SIT¹, guida l'utente in maniera sintetica e diretta a comprendere quali dati cartografici sono disponibili nei diversi anni e con quale metodo è possibile visionarli (consultazione web, consultazione e/o stampa presso l'unità SIT).

The screenshot shows the 'iperbole' website interface. The main content area is titled 'Archivio cartografico' and contains a table of cartographic materials. The table has three columns: 'CARTOGRAFIA', 'RIPRODUZIONE A MEZZO STAMPA', and 'CONSULTAZIONE'. The table lists various cartographic materials from 1850 to 1985, including historical maps, aerial photography, and urban planning documents. The 'CONSULTAZIONE' column indicates whether the material is available online or for consultation at the SIT.

CARTOGRAFIA	RIPRODUZIONE A MEZZO STAMPA	CONSULTAZIONE
cartografia 1850 [Carta Austriaca]	No	cartografia consultabile ON LINE
cartografia 1873 [Catasto]	No	cartografia consultabile presso il SIT
cartografia 1884 [IGM]	No	cartografia consultabile presso il SIT
cartografia 1907 [IGM]	No	cartografia consultabile presso il SIT
cartografia 1933 [IGM]	No	cartografia consultabile presso il SIT
cartografia 1941 [Bologna stato attuale]	Sì	cartografia consultabile ON LINE
cartografia 1945 [Piano di ricostruzione]	Sì	cartografia consultabile ON LINE
cartografia 1949 [Censimento urbanistico]	Sì	cartografia consultabile ON LINE
cartografia 1958 [PRG]	Sì	cartografia consultabile ON LINE
cartografia 1969 [PRG]	Sì	cartografia consultabile ON LINE
cartografia 1972 [EIRA]	Sì	cartografia consultabile presso il SIT
cartografia 1979 [PRG]	Sì	cartografia consultabile ON LINE
cartografia 1985 [PRG - variante 2009]	Sì	cartografia consultabile ON LINE

The sidebar on the right contains links to 'CARTOGRAFIA INTERATTIVA', 'Bologna Solar City', 'Consultazione comparata repertorio storico fotopiani e mappe', 'Consultazione e stampa CTC, PSC - Carta Unica del Territorio, Ortofoto 2007', 'Mappe interattive PSC RUE POC', 'DOWNLOAD', 'Tavole in formato DXF', 'Tavole di RUE in formato PDF', 'Fiumi, torrenti e corsi d'acqua di interesse paesaggistico', 'PRG '85', 'ARCHIVIO CARTOGRAFICO', and 'Foto aeree, cartografia storica, immagini'.

Figura 1 – L'Archivio cartografico.

L'archivio cartografico è costituito fondamentalmente dalle seguenti tipologie di materiali:

- cartografie e mappe storiche in formato cartaceo o digitale, comprendenti la serie storica dei PRG, una serie di censimenti, le cartografie IGM e le cartografie catastali utili alla ricostruzione dell'evoluzione del territorio;

¹ La pagina è disponibile all'indirizzo <http://www.comune.bologna.it/sit> nella sezione 'informazioni' alla voce 'Materiale aerofotogrammetrico - Archivio cartografico' [Accesso settembre 2011]

- fotogrammi aerei che coprono un arco temporale che va dal 1937 ad oggi, in formato cartaceo e/o digitale;
- librerie Pictometry® composte da immagini aeree, oblique ed ortogonali, di elevata risoluzione e con ampie aree di sovrapposizione. Il Comune di Bologna ha già collezionato una serie consistente di tali librerie, dal momento che a partire dal 2005 sono stati realizzati rilievi con cadenza annuale.

Il processo automatico di mosaicatura delle immagini

I mosaici di foto aeree storiche, realizzati negli anni passati dai tecnici del SIT, si ricavavano dal processamento di un numero contenuto di fotogrammi (100-200 immagini) su ognuno dei quali, secondo la tecnica tradizionale di mosaicatura, si editavano le *region*, cioè i poligoni che individuano l'area da trattare.

A causa dell'incremento notevole della mole di dati da elaborare non è più possibile continuare ad utilizzare le procedure standard di mosaicatura con gli ultimi prodotti digitali (sempre più precisi e con elevate risoluzioni); per questo si è cercato un software che permettesse di automatizzare al massimo il lavoro.

Nello specifico, i dati di riferimento sono le immagini delle librerie Pictometry®, non tanto per la parte delle viste oblique, consultabili mediante applicativi desktop proprietari e all'interno di applicazioni web in uso presso l'Amministrazione, quanto per la parte delle viste ortogonali che è possibile esportare dalle librerie, mediante procedure in *batch*, come immagini già georeferenziate ed ortorettificate.

Le librerie presentano immagini ortorettificate acquisite attraverso rilievi aerei che coprono aree di circa 300*400 metri ed hanno in media una risoluzione di 0,09 metri.

Il piano di volo è tale da restituire una sovrapposizione di circa 200 metri tra immagini contigue della stessa strisciata e di circa 100 metri tra immagini contigue di strisciate diverse; questo lascia intuire facilmente quanto possa essere elevato il numero di elementi che coprono l'intero territorio comunale.

Il fatto che ciascun volo venga realizzato in più giornate, ha generato dati ridondanti che sono stati esclusi dall'elaborazione del mosaico, lasciando però comunque elevata la mole dei dati da processare (20.000 immagini).

La soluzione per adeguare il metodo di lavoro alle nuove tecnologie e ai nuovi prodotti a disposizione è stata trovata nel modulo LPS (Leica Photogrammetry Suite) di Erdas Imagine 2011, in particolare negli strumenti del Mosaic Pro che permettono di combinare insieme in automatico immagini georeferenziate.

Il *tool* Mosaic Pro consente di mosaicare una serie di immagini purché si abbiano le informazioni sulla proiezione cartografica e abbiano lo stesso numero di bande, ma non necessariamente la stessa risoluzione spaziale, cosa molto importante nel caso in esame poiché le ortoimmagini Pictometry® non hanno sempre la stessa risoluzione, anche se in generale si sposta di molto poco dal valore indicato in precedenza.

L'estrazione dalle librerie Pictometry® delle viste ortogonali viene fatta, con l'applicativo proprietario Electronic Field Study: questo inserisce automaticamente nell'immagine il copyright nella parte in basso a destra e successivamente il *tool* di Erdas LPS permette di escludere questa area dai singoli elementi.

All'interno del *tool* Mosaic Pro lo strumento *Automatically Generate Seamline for Intersection* consente, una volta caricato un blocco di immagini, di generare le linee di intersezione tra i vari elementi e quindi la *region* di ogni singola immagine in base al metodo prescelto. Nel caso in esame il metodo che si è ritenuto più adatto è il *Weighted Seamline*, che genera in automatico le linee di taglio iniziali e permette di definire la lunghezza (in pixel) dei segmenti che costituiscono la spezzata del poligono di taglio, lo scostamento tra la direzione del singolo segmento e la direzione della *Most Nadir*. Variando alternativamente i parametri si è riusciti ad ottenere dei risultati

soddisfacenti con linee che si avvicinano alle discontinuità naturali; in alcuni casi, poi, è stato necessario modificare manualmente le *region* mediante un semplice strumento di editing.

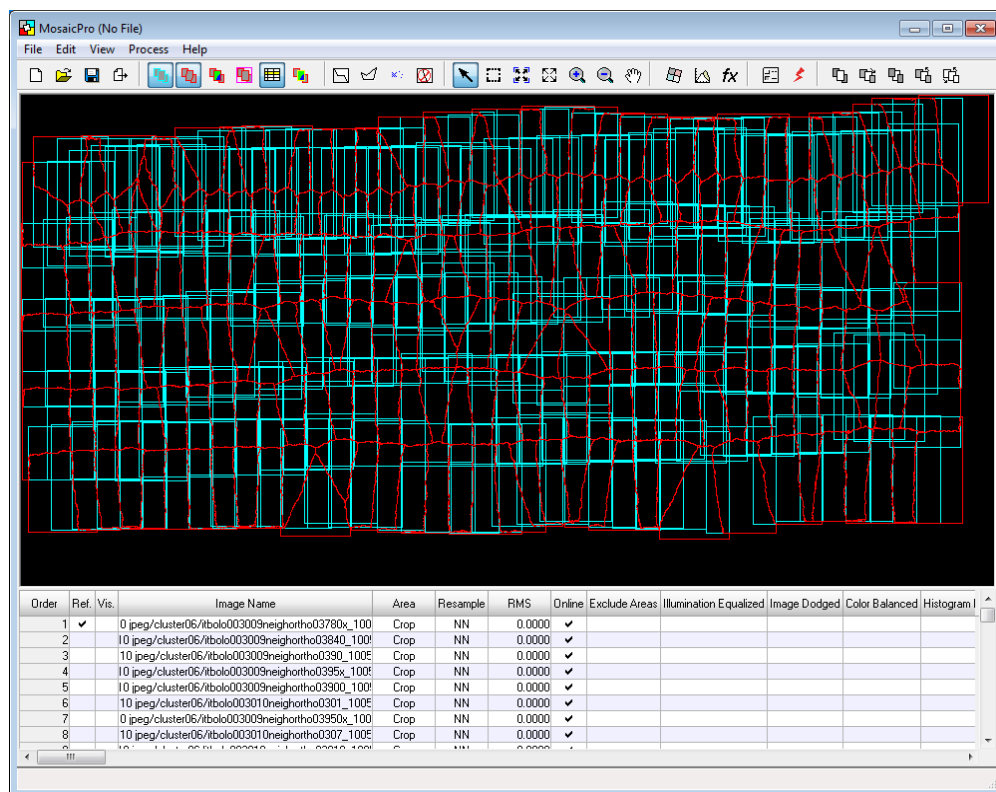


Figura 2 – Erdas LPS 2011: generazione automatica delle region.

La procedura di mosaicatura con questo strumento ha abbreviato notevolmente i tempi di impegno dei tecnici del SIT; resta ovviamente il tempo di occupazione della CPU delle macchine per la elaborazione. A conclusione del percorso la grande quantità di dati è stata tradotta in un'unica immagine in formato ecw dalla risoluzione di circa 0,09 metri e della dimensione di circa 4Gb.

La pubblicazione

Negli anni passati il SIT aveva ideato un'interfaccia di navigazione web che consentiva di esaminare, attraverso una visione comparata di una stessa area del territorio, il repertorio fotogrammetrico, le cartografie e gli strumenti di pianificazione storici e vigenti.

L'applicazione, progettata su un'architettura di tipo commerciale, di fatto non è più al passo con i tempi. Infatti, la vecchia tecnologia presentava ostacoli tecnici non indifferenti: attese prolungate per il caricamento e la visualizzazione delle mappe, difficoltà di installazione del *plug-in* aggiuntivo (la compatibilità non era assicurata con tutti i sistemi operativi, con tutti i browser e le relative versioni), limite della dimensione complessiva delle immagini da esporre, etc.

Oggi le nuove soluzioni proposte da Esri lato server consentono la navigazione dei dati cartografici su web in maniera molto più veloce rispetto al passato e senza dover ricorrere all'installazione di alcun *plug-in* aggiuntivo; inoltre tali nuovi strumenti, rispetto ai tradizionali webGIS, consentono lo sviluppo di applicazioni web di facile configurazione. Per tutti questi motivi si è deciso di utilizzare

la piattaforma ArcGIS Server e le librerie ArcGIS JavaScript API basate sul *toolkit* dojo per effettuare un *restyling* dell'applicazione.

Per ogni ortofoto e per ogni mappa storica prodotta, opportunamente convertita da ecw in tiff, è stato redatto un progetto ArcMap in formato msd ed è stato pubblicato il relativo *map service cached*.

La scelta di pubblicare questa tipologia di servizi garantisce l'alta prestazione in termini temporali dell'applicazione perché, come è noto, questa tecnica restituisce rapidamente all'utente una vista cartografica richiamando una serie di immagini (*tile*), realizzate a varie scale, pre-elaborate sul server.

La *web application*, che richiama i servizi esposti tramite protocollo REST, è stata realizzata personalizzando l'applicazione già pronta all'uso Multiple Maps v1.5², messa a disposizione dalla Esri.

L'interfaccia di "Consultazione comparata repertorio storico fotopiani e mappe", dal *layout* del tutto simile a quello della precedente versione, mostra all'avvio due immagini affiancate che propongono la stessa porzione del territorio bolognese in epoche diverse.

L'utente ha la possibilità, grazie ad un menu a tendina, di scegliere le foto aeree o le mappe storiche da confrontare e di navigare la mappa attraverso una ricerca per via e numero civico che sfrutta il database toponomastico del SIT.

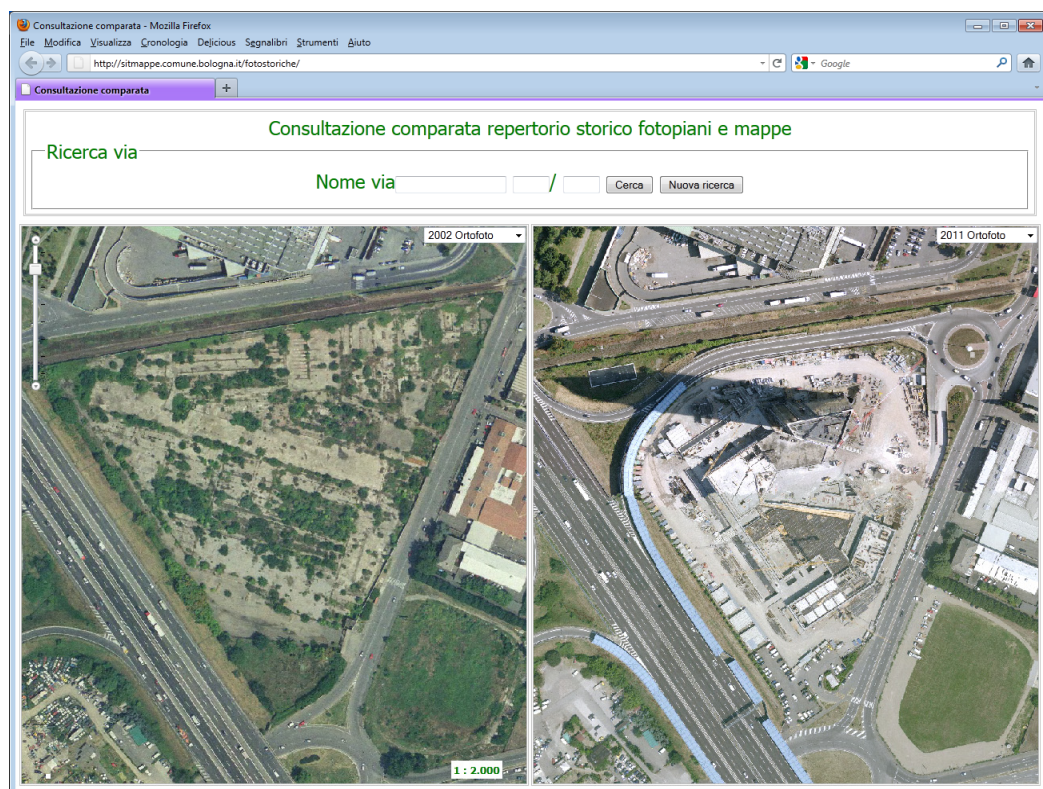


Figura 3 – Applicazione web di consultazione.

² L'applicazione Multiple Maps v1.5 è stata sviluppata da John Grayson ed è disponibile all'indirizzo: <http://arcscrips.esri.com/details.asp?dbid=15699> [Accesso settembre 2011]

Per evitare l'esposizione su web di materiale non di proprietà del Comune di Bologna sono state realizzate due versioni dell'applicazione: una per gli utenti interni all'Amministrazione che visualizza l'intero repertorio cartografico ed una per gli utenti esterni che permette la visione di una parte limitata dell'archivio.

Conclusioni

L'esperienza illustrata ha permesso di migliorare un progetto avviato già da anni dall'unità SIT allo scopo di ridurre la consultazione degli archivi cartacei (che comporta il deterioramento dei documenti), l'impiego del personale tecnico preposto e il numero di utenti che si devono recare presso gli uffici comunali. Il lavoro svolto in quest'ultimo periodo, sostanzialmente, si può sintetizzare in tre azioni: organizzazione dell'archivio cartografico e dei suoi dati, automatizzazione di alcune fasi di elaborazione dati e adeguamento tecnologico del sistema di pubblicazione web.

La natura del progetto lascia facilmente immaginare che sarà in continua evoluzione, basti pensare alla velocità con cui la tecnologia offre delle soluzioni sempre più performanti e alla grande quantità di dati dell'archivio cartografico da mettere ancora a sistema.

I prossimi passi saranno quelli di migliorare l'interfaccia grafica dell'applicazione web per renderla ancor più adeguata alle esigenze degli utenti, anche quelli meno esperti, e di cercare di sfruttare al meglio i *tool* disponibili nel software utilizzato per automatizzare l'elaborazione anche dei prodotti meno recenti, quali foto aeree e cartografie storiche, in modo da ridurre i tempi per la messa a sistema di tutto il repertorio cartografico.

È in fase di studio, inoltre, l'aggiunta nell'applicazione web di un *tool* che permetta all'utente l'estrazione certificata dei dati dell'archivio cartografico pubblicato.

Riferimenti bibliografici

Minghetti A., Africani P., Gattei M., Milani M., Paselli E. (2004), "Strumenti innovativi a supporto del bilancio della pianificazione", *Atti VIII Conferenza ASITA*

Minghetti A., Civitella P., Milani M., Poggiali M. (2002), "La città di vetro - Consultazione interattiva di mappe e fotopiani storici digitalizzati del Comune di Bologna", *Atti VI Conferenza ASITA*

<http://www.comune.bologna.it/sit>

Erdas Imagine 2011 – User Guide - <http://www.erdas.com>

ArcGIS JavaScript API - <http://help.arcgis.com/en/webapi/javascript/arcgis/>

Dinamiche di innesco di incendio forestale in aree periurbane e turistico-rurali mediterranee

Sirio Modugno (*), Anna Badia (*),
Roberto Mugavero (**), Andrea Fiduccia (***)

(*) Departamento de Geografía, Universitat Autònoma de Barcelona, Facultat de Filosofia y Lletres-Edificio B
Campus UAB, 08193 Bellaterra-Cerdanyola del Vallès (Barcelona), Tel. 0034 935811459

e-mail: sirio.modugno@uab.es; anna.badia@uab.es

(**) Dipartimento di Ingegneria Elettronica Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"
Via del Politecnico 1, 00133 Roma (Italy), Tel. Fax +39 06 7259 7320; mugavero@ing.uniroma2.it

(***) Intergraph Italia LLC, Via Sante Bargellini 4, 00157 Roma
Tel. +39.06.43588889, Fax +39 06 43254376, andrea.fiduccia@intergraph.com

Riassunto

La fase preventiva della gestione del rischio incendi forestali può essere resa più efficiente dalla individuazione su base modellistica delle aree maggiormente soggette a inneschi. L'evoluzione nella tipologia e qualità dei dati disponibili offre, oggi, la possibilità di individuare l'esatto punto di innesco degli incendi boschivi e di relazionare le dinamiche di inizio di un incendio con la pressione antropica sul territorio. Allo stesso tempo un dato puntuale, non areale, significa poter elaborare studi ad elevata risoluzione spaziale. Il dato di innesco con elevata accuratezza posizionale è di fondamentale importanza per capire quali variabili più di altre possano influire nell'accensione di focolai. A questo proposito la regressione logistica offre oggettivi valori di relazione tra variabile dipendente - punti di innesco - e variabili indipendenti che rappresentano le caratteristiche territoriali. La possibilità di georeferenziare il risultato statistico in mappe di probabilità di innesco a scala sub-municipale aiuta il processo di pianificazione territoriale. Obiettivo di questo paper è analizzare le dinamiche di innesco in due zone di differenti caratteristiche geografiche. Le aree considerate sono la zona periurbana Sud-Est di Roma e la zona rurale turistica del litorale della Provincia di Latina. Altro aspetto da constatare è se l'utilizzo di dati di innesco ad elevata accuratezza posizionale, rispetto a centroidi delle aree percorse da fuoco, determini un cambiamento nel significato statistico.

Abstract

The preventive phase of forest fire risk management can be more efficient if considers a spatial discrimination of area more affected to fire ignition. The evolution to recollected data today offers the possibility to considering the exact forest fire ignition point. This data is able to report of fire starting dynamic with human pressure. At the same time a punctual data, not areal, can develop products with high spatial resolution. The ignition data, with exactly coordinates, have fundamental importance to understand what variables more than others may affect the ignition. In this regard, logistic regression offers, object relationship between the dependent variable, ignition points, and independent variables, environmental aspects. The possibility to georeference the statistical result by probability ignition maps at sub-municipal scale helps the process of territorial planning. Objective of this paper is test the fire ignition dynamics in two zones with different geographical features. The areas considered are the suburban area south-east of Rome and the rural-tourism coast area of Latina province. Another objective is observe if the implementation of data with exact ignition point, respect centroids of burnet areas, cause a change in statistical significance.

Introduzione

Gli incendi forestali sono divenuti negli ultimi decenni un problema ambientale “cronico” che si ripete di anno in anno colpendo una vegetazione che in principio viveva in simbiosi con questi fenomeni di disturbo - i quali avevano, però, frequenze differenti da quelle di oggi. Attualmente possiamo affermare che il paesaggio del bacino del mediterraneo è determinato oltre che dal clima e dall’impatto dell’operato umano anche dal fuoco (Pausas, 1999). Si può spiegare l’attuale instabile situazione selviculturale con una trasformazione della struttura territoriale. L’abbandono della dimensione rurale si è tradotto in una trasformazione dell’uso del suolo che ha decretato una perdita di suoli agricoli, l’avvicinamento delle aree urbane e l’espansione disordinata di zone forestali (Mather, 1992).

Le masse forestali subiscono una emarginazione, ma al tempo stesso sono frammentate dal veloce sviluppo infrastrutturale. A livello urbanistico, da metà degli anni ’70, assume importanza il modello urbano disperso denominato in letteratura anglosassone “*urban-sprawl*” (Stewart et al., 2007). Le funzioni economiche del bosco sono venute meno compromettendo così anche altri tipi di funzione: paesaggistiche, idrologiche, ecologiche. I proprietari devono spendere capitali per garantire queste funzioni senza trovare un ritorno economico (Terradas et al., 2004). Le compensazioni statali non sono sufficienti e le trasformazioni dell’uso del suolo sembrano essere la soluzione più redditizia.

Questa irruzione nelle zone boschive attraverso un’urbanizzazione dispersa ha creato forti zone di contrasto denominate *Wildland-Urban Interface* (WUI) “zone di interfase urbana-forestale” (Radeloff et al., 2005). La crescente pressione antropica ha catalizzato i fenomeni di incendi boschivi. In questo panorama, la prevenzione mira a riavviare le attività rurali come realtà economica che possa gestire gli spazi tra aree urbane e aree rurali e cerca di prevenire e controllare sul nascere i fenomeni di combustione. In questo senso mappare la probabilità di innesco a scala sub-provinciale può contribuire all’efficienza del controllo territoriale. La regressione logistica attraverso valori oggettivi ci indicherà le aree maggiormente esposte a fenomeni di innesco. Potendo contare su dati ad esatta georeferenziazione raccolti nelle nuove procedure Anti Incendi Boschivi (AIB) della Regione Lazio valuteremo l’importanza di questa tipologia di dati rispetto ai “punti centroidi” da noi elaborati dei poligoni rappresentanti le aree percorse da fuoco.

Aree di studio

L’area periurbana scelta per questo studio comprende il settore sud-est di Roma dove si localizza la regione geografica dei *castelli romani* e raggiunge ad Est il municipio di Tivoli fino a sfiorare i massicci appenninici. È stata scelta questa zona per la forte pressione antropica ed il grande interesse naturalistico evidenziato dalla presenza dei Parchi Regionali dei Castelli Romani, dei Monti Simbruini (in parte) e dell’Appia Antica (in parte). Nell’area si trovano anche riserve naturali periurbane come Monte Catillo o nella parte marginale il Parco del Fiume Aniene. L’orografia vede la presenza caratteristica del complesso vulcanico dei Colli Albani le cui ultime attività esplosive vengono fissate a 5.000 di anni fa (Funicello et al., 2003). La morfologia di quest’area esprime altezze massime di circa 900 metri (Monte Cavo, Tuscolo e Artemisio) e versanti che si raccordano alla pianura fino ad altezze minime prossime al livello del mare. Incassati nelle caldere collassate si trovano i corpi lacustri di Albano e Nemi, che con forma ad imbuto evidenziano la natura vulcanica del territorio (Ciccacci et al. 1987). Nel settore Est troviamo parte dei Monti Sibillini e la catena degli Appennini dove si raggiungono altezze superiori ai 1400 m. A Sud al confine con la Provincia di Latina troviamo la catena antiappenninica dei Monti Lepini con altezze di 1500 m. Il clima della zona è costituito dal tipico clima mediterraneo: inverni miti ed estati calde coincidenti con i periodi di siccità. Con l’aumento dell’altitudine (Appennino e zona dei Monti Lepini) possiamo notare un avvicinamento alla tipologia di clima temperato. La piovosità è un indicatore, ovviamente, tra i più interessanti ai fini della nostra ricerca e varia con l’altezza aumentando nelle zone più elevate. Per la zona dell’Agropontino il piano AIB (2007-2011) dichiara precipitazioni medie annue di 842 e 966 mm, raggiungendo anche i 1000 mm anno in zone superiori ai 1200 m.

La flora risponde alle differenze di altitudini: in zone prossime alla costa la vegetazione mediterranea si innesta in un paesaggio, comunque, fortemente antropizzato o modificato dall'operato umano. Siamo all'inizio della Pianura Agroponcina dove aree fortemente antropizzate sono circondate da campi agricoli seminativi non irrigati. Il complesso dei Colli Albani ospita macchie boschive di querceti (*Quercus pubescens*) e castagni (*Castanea sativa*); i Monti Lepini vedono la presenza nelle zone più elevate anche di faggete pure, determinate dalla specie *Fagus sylvatica*. La parte più ad est dell'area considerata zona appenninica è caratterizzata da una continuità boschiva maggiore dove troviamo sia varie tipologie di querce ed a quote maggiori ancora faggi.

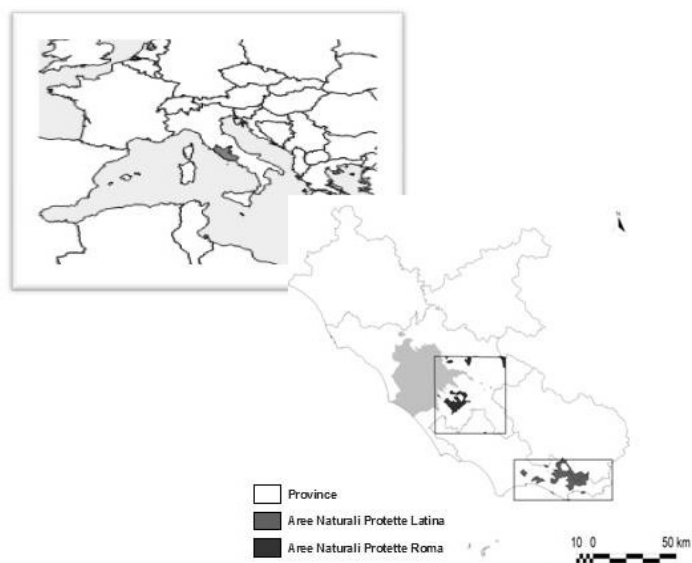


Figura 1 – Localizzazione delle aree di studio.

L'area rappresentativa della struttura territoriale rurale-turistica, scelta per il nostro studio, si trova a Sud della Provincia di Latina. I principali centri urbani si localizzano lungo la costa ed a basse altitudini; i municipi più importanti sono Sperlonga, Gaeta, Fondi e Minturno. La morfologia è caratterizzata da massicci carbonatici preappenninici dei Monti Ausoni e Aurunci che fanno riferimento alla piattaforma carbonatica Laziale-Abruzzese, Giurassico e Paelocene. La natura carbonatica garantisce una grande presenza di risorgive e corpi tipici di morfologia carsica. Quest'area rappresenta forti contrasti, dislivelli accentuati e gradi di accessibilità verso l'interno ridotti. Le altezze massime, superiori ai 1400 m, entrano in contrasto con la vicinanza alla linea di costa. La zona pianeggiante è costituita dalla piana del lago di Fondi, di origine costiera, formato per sbarramento di tomboli. La pianura è fortemente antropizzata e caratterizzata nelle zone pedemontane da coltivazioni di viti ed uliveti, non sempre attive.

La flora fa riferimento alla generale classificazione compresa tra regione mediterranea e regione temperata. Nella vicinanza con la costa si riscontra una vegetazione mediterranea che dà luogo a vaste garrighe costituite da sugherete (*Quercus suber*), mirto (*Myrtus communis*), querce della specie roverella (*Quercus pubescens*). Importanti sono le estensioni di sclerofile rappresentate anche dal ginepro (Cornellini e Petralla, 2006).

L'attività agricola è l'attività primaria della zona, seguita dall'importante attività turistico-balneare legata ai mesi estivi. Le principali coltivazioni sono estensive con colture in zone di pianura, mentre in aree pedemontane si concentrano colture di uliveti e viti (che ha differenza della zona periurbana

di Roma non hanno raggiunto un *certificato di origine*). Quest'area fortemente agricola soffre, rispetto al problema degli incendi forestali, di un graduale abbandono delle terre. Come vedremo successivamente, gli uliveti spesso sono zone di innesco di focolai evidenziando una problematica tipica di un mondo rurale nel quale prevalgono solo colture di irrigazione o estensive. L'uso del fuoco come strumento di lavoro è, poi, a causa di superficialità, fonte del verificarsi di incendi in zone di interfase agricolo-forestale.

Metodologia e dati utilizzati

La metodologia adottata per trovare la relazione tra i punti di innesco e l'insieme di variabili ambientali considerate è la regressione logistica. Questa metodologia è stata utilizzata in precedenti lavori nella regione della Catalunya dove si è potuto raggiungere significati statistici rilevanti (Modugno et al., 2008; Badia et al., 2011). La seguente formula [1] evidenzia la correlazione tra la variabile dipendente di natura dicotomica, (0-1; vero-falso) e un gruppo di variabili indipendenti di non certa importanza.

$$f(z) = \frac{1}{(1 + e^{-z})} \quad [1]$$

Dove nella formula [2] z è la combinazione lineare delle variabili indipendenti che rappresenta i regressori parziali:

$$z = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_p X_p \quad [2]$$

I principali indicatori statistici offerti sono la *Odds Ratio* [3] ed il *Receiver Operating Characteristic* (ROC). Il primo indicatore può essere definito come il rapporto tra le proporzioni delle frequenze osservate e le non osservate, o come il rapporto tra la probabilità che si verifichi un fenomeno diviso da quella che non si verifichi. È un indicatore da noi interpretato come "di qualità" del modello statistico: infatti, maggiore è il suo valore, maggiore è la quantità di veri positivi e veri negativi.

$$\text{Odds Ratio} = \frac{\frac{\text{Vero Positivo}}{\text{Falso Positivo}}}{\frac{\text{Falso Negativo}}{\text{Vero Negativo}}} \quad [3]$$

Per considerare, invece, la correlazione tra variabile dipendente e variabili indipendenti, ossia fenomeno studiato e caratteristiche ambientali, valuteremo il valore ROC. Questo è stato interpretato come indicatore "definitivo" nel stabilire l'idoneità del modello ed è compreso tra 0-1 (dove il significato statistico incomincia ad essere rilevante a partire da 0.5).

L'utilizzo di questa formula offre, quindi, valori oggettivi e ha dalla qualità dei dati il suo punto di forza. Nel nostro caso di studio si sono implementati come variabile dipendente i punti di innesco provenienti dalle compilazioni delle schede AIB del Corpo Forestale dello Stato (CFS) e successivamente catalogate in formato alfanumerico, disponibili per l'anno 2008. Per gli anni anteriori sono state utilizzate le aree percorse da fuoco digitalizzate sempre dal suddetto ente statale. Per ottenere dei dati puntuali per gli anni precedenti al 2008 si è ricavato il punto centroide dei poligoni delle aree bruciate. Nell'applicazione dei modelli di regressione logistica è interessante comparare il differente significato statistico derivato nell'implementazione della variabile dipendente determinata dai centroidi rispetto a quella derivata dai punti AIB 2008 raccolti con tecnica *Global Position System* (GPS) dal CFS.

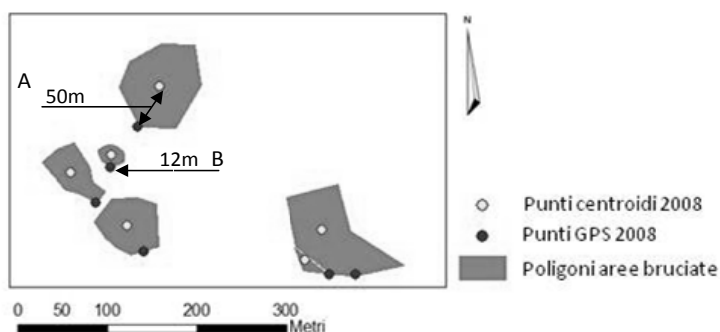


Figura 2 – Differenza tra Punti schede AIB e Punti sviluppati da centroidi.

Come è possibile intuire anche dalla figura che confronta i punti di innesco AIB e i punti di innesco ricavati dai centroidi (Figura 2), maggiori sono le estensioni dei poligoni maggiore sarà l'approssimazione dei punti determinati dai centroidi. Ciò può essere constatato, ad esempio, analizzando la differenza tra il poligono A e il poligono B. Questa comparazione permette una prima valutazione circa la possibile perdita di potere predittivo dei modelli dovuta alla generalizzazione della localizzazione della variabile dipendente “punti di innesco”. L'adozione dei centroidi delle aree percorse dal fuoco è un'approssimazione della realtà che va considerata ai fini di una possibile perdita del significato statistico. Tra i dati a disposizione si è deciso di analizzare i dati del 2007, per il gran numero di inneschi, ed i dati del 2008 per la possibilità di comparare i punti centroidi con i punti AIB raccolti con tecnica GPS.

Anno	Roma	Latina
2004	28	123
2005	40	197
2006	37	176
2007	154	272
2008	24*	118*

Figura 3 – Serie di punti considerata per le aree di studio (nel 2008 con asterisco punti AIB).

Per quello che concerne alle variabili indipendenti, queste hanno cercato di considerare aspetti biofisici, ma anche l'importante effetto della pressione antropica sul territorio. Come variabili biofisiche troviamo il *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) che viene fornito dall'elaborazione di immagini satellitari. Nel caso di studio specifico si è fatto riferimento alle immagini Landsat con 30 m di risoluzione spaziale. I giorni considerati sono per Roma il 19 Luglio 2007 ed il 06 Agosto 2008, per Latina il 25 Maggio 2007 ed il 31 Agosto 2008. Purtroppo i dati accessibili “a costo zero” grazie al portale della NASA “*glovis*” non contengono l'intera serie temporale e, quindi, oltre al problema di scene affette da condizioni meteo sfavorevoli, altre immagini di nostro interesse non erano fruibili. Si è considerato l'NDVI come indicatore di fenomeni di stress fenologico dove bassi valori di questo possano indicare situazioni di propensione agli inneschi (Chuvieco et al. 2004). È ovvio che una media calcolata su più immagini, rispetto a singoli giorni, avrebbe rappresentato valori più prossimi alla realtà.

Altra variabile biofisica considerata è la temperatura della superficie terrestre (TST). Partendo dall'osservazione che i fenomeni di incendi forestali sono preceduti da innalzamento della TST (Guo e Zhou 2004), si è ritenuto opportuno ipotizzare una relazione con l'apparizione dei punti di innesco e questa variabile. La TST è stata rappresentata a partire dal prodotto satellitare MODIS-MOD11 elaborato dal CNR-IMAA (Consiglio Nazionale delle Ricerche - *Institute of*

Methodologies for Environmental Analysis). È stato scelto questo dato per sfruttare l'elevata risoluzione temporale - un'immagine al giorno - adottando una risoluzione spaziale di 1km. In riferimento alla risoluzione spettrale, la TST è elaborata a partire dai canali Ch 31 e Ch32 corrispondenti a lunghezze d'onda del campo dell'Infrarosso Termico (*Thermal IR*). Dopo aver "pulito" tutte le immagini dalle nubi, si è proceduto ad effettuare una media per il mese di Luglio dei due anni studiati ottenendo il layer definitivo della Temperatura Superficie Terrestre Media Massima di Luglio (TSTMML). La media è stata elaborata a partire da 30 immagini, una per ogni giorno, con passaggio prossimo alle 13h coincidente con le temperature massime.

Una variabile molto interessante, che può essere interpretata sia come biofisica che antropica, è il modello digitale di elevazione (DEM) che rappresenta l'altitudine del territorio. Questa variabile è relazionabile nell'immediata realtà biofisica con le differenze microclimatiche. È possibile, però, anche correlare le fasce di altitudine con la localizzazione di infrastrutture antropiche e, conseguentemente, con il grado di accessibilità. Per il DEM si è effettuata un'elaborazione specifica interpolando le isolinee della carta tecnica regionale con risoluzione di 50m.

Tra le variabili indipendenti classificabili come antropiche vi è, poi, la distanza dalle aree urbanizzate e la distanza dalle reti stradali principali. Queste variabili esprimono il grado di accessibilità del territorio e, dunque, la pressione antropica.

La struttura territoriale è stata modellizzata mediante una mappa di uso del suolo riclassificata rispetto alla propensione agli inneschi. Quindi, si è implementata la variabile "distanza dalle aree parco", aree con maggior protezione e valore ecologico, ipotizzando una probabilità diretta tra maggior distanza, minor controllo territoriale e maggiore probabilità di innesco.

	Variabili implementate	Fonte
Variabili dipendenti	Punti innesco	CFS (2008)
	Poligoni aree percorse da fuoco	CFS (2004-2008) Successiva elaborazione propria in punti centroidi
Variabili indipendenti	DEM	Elaborazione da isoipse CTR
	Aree protette	Univ.Roma Tre-Intergraph
	Landsat-NDVI	Glovis-elaborazione
	Modis-TSTMML	CNR IMAA-elaborazione
	Rete stradale	Univ.Roma Tre-Intergraph
	Uso del Suolo-Corine LC	Agenzia Ambientale Europea
	Superficie Urbana	Univ.Roma Tre-Intergraph

Figura 4 – Sintesi dei dati utilizzati (Master Data Table).

Risultati

Utilizzando tutte le variabili indipendenti a disposizione si è arrivati alla selezione di tre modelli rappresentativi. Le variabili biofisiche mostrano i significati più deboli, mentre il graduale inserimento delle variabili antropiche definisce modelli con rilevante peso statistico. La seguente Figura 5 illustra il caso di studio di Roma dove il Modello 3 con un valore *Odds Ratio* di 17 e un valore ROC di 0.82 si afferma come il più efficiente. Da sottolineare, comunque, anche il peso della variabile "uso del suolo" che aggiunge importanza al Modello 1. L'importanza della rete stradale è evidenziata dall'alto valore ROC del Modello 2 anche se questo indica un'affidabilità (valori di *Odds Ratio*) minore del Modello 3. I valori statistici confermano la maggior idoneità dei punti raccolti con tecnica GPS ad eccezione del Modello 1, dove si presentano comunque valori similari nell'implementazione delle due tipologie di dati per l'anno 2008.

Modello 1			Modello 2			Modello 3			
Aree protette			Aree protette			DEM			
TST Modis Luglio			NDVI			Distanza aree urbane			
Uso del suolo			Distanza rete stradale			Distanza rete stradale			
2007	2008	2008 gps	2007	2008	2008 gps	2007	2008	2008 gps	
3.4	11	6.3	3.8	9	9.2	8.1	7.5	17	Odds ratio
0.68	0.81	0.80	0.70	0.83	0.83	0.75	0.78	0.82	ROC

Figura 5 – Modelli RLO per la zona di Roma.

Per quello che riguarda gli andamenti di queste variabili, i segni aritmetici dei regressori parziali (Figura 9) indicano un comportamento direttamente proporzionale del DEM, cioè ad una maggior quota corrisponde una maggior probabilità di innesco.

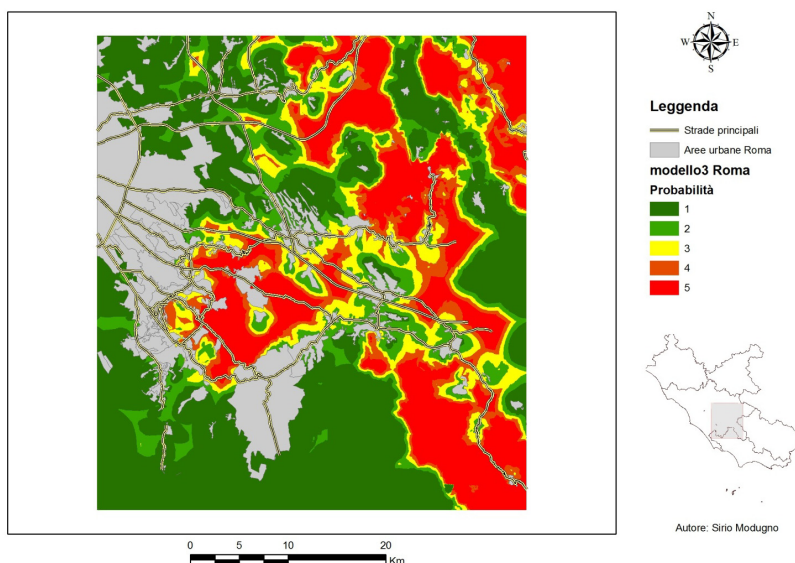


Figura 6 – Rappresentazione cartografica della probabilità di innesco per la zona di Roma (Modello 3 2008).

Analogamente anche la distanza dai centri urbani mostra maggiori valori a maggiori distanze, fatto dovuto dal grande continuo urbano che caratterizza quest'area. La distanza dalla rete stradale influisce sull'apparizione dei punti di innesco secondo la correlazione tra minor distanza e maggior probabilità di innesco. Come è possibile vedere in Figura 6, le zone maggiormente interessate da alta probabilità sono esattamente le zone boschive del Parco dei Castelli Romani, le zone pre-appenniniche e Monti Lepini.

Per il caso di Latina viene evidenziata la maggior predittività del Modello 3 per l'anno 2007 (con un valore ROC di 0.78). Questo valore decreta un potere predittivo sensibilmente maggiore agli altri modelli. Per quello che concerne al confronto tra punti "centroidi" e punti raccolti con tecnica GPS, o "punti AIB", il significato statistico ribadisce l'importanza dei punti di innesco raccolti sul campo evidenziando maggior affidabilità statistica.

Modello 1			Modello 2			Modello 3			
Aree protette			Aree protette			MDE			
TST Modis Luglio			NDVI			Distanza aree urbane			
Uso del suolo			Distanza rete stradale			Distanza rete stradale			
2007	2008	2008 gps	2007	2008	2008 gps	2007	2008	2008 gps	
5.3	10	9.7	4.6	2.1	3.4	7.7	9.3	9	Odds ratio
0.70	0.73	0.73	0.72	0.60	0.68	0.78	0.70	0.72	ROC

Figura 7 – Modelli RLO per la zona di Latina.

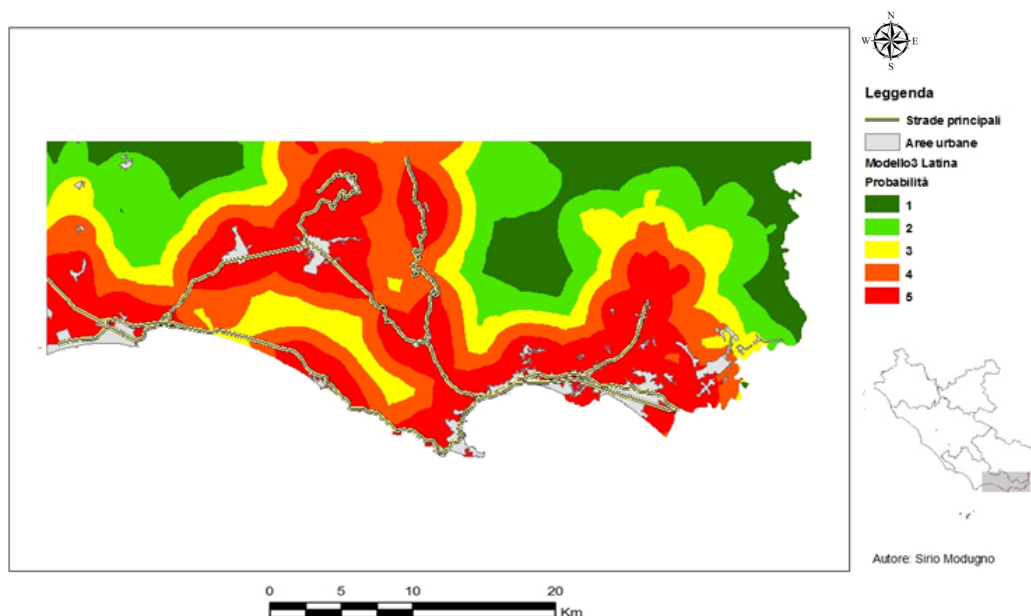


Figura 8 – Rappresentazione cartografica della probabilità di innesco per la zona di Latina (Modello 3 2007).

La distribuzione spaziale della probabilità di innesco evidenzia come la zona costiera e le aree prossime alla rete stradale siano quelle più interessate da questo fenomeno. Le zone urbane disperse residenziali, tipiche delle aree ad insediamento turistico, insieme all'abbandono delle aree agricole in zone pedemontane, sembrano essere le chiavi di lettura del fenomeno degli incendi forestali in questa area di studio.

Roma

Latina

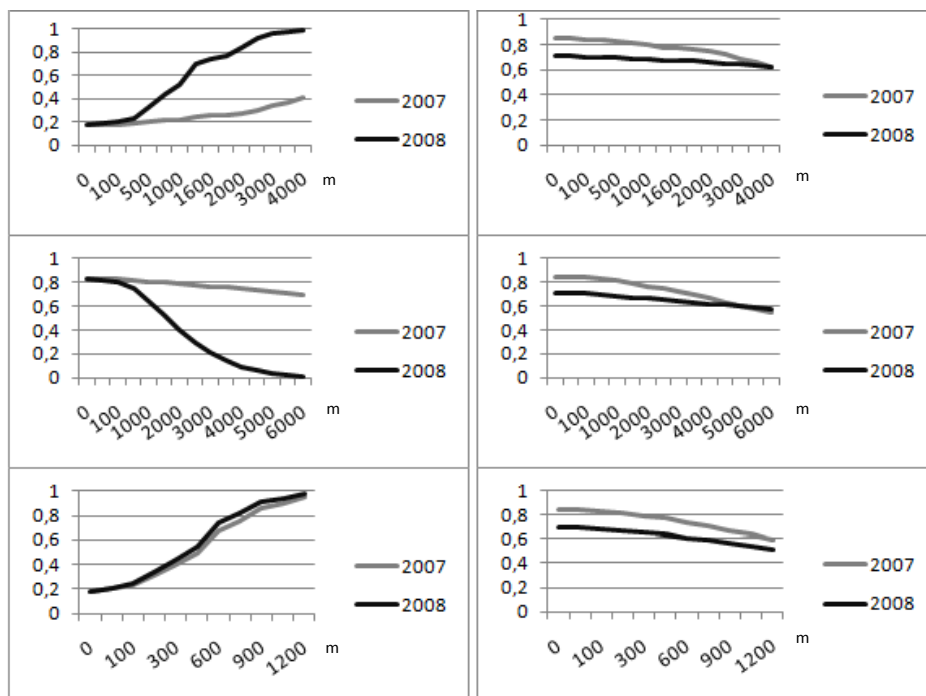


Figura 9 – Grafici evoluzione nello spazio della probabilità di innesco, considerando i regressori parziali, formula [2]. Dall'alto verso il basso: distanza aree urbane; distanza rete stradale; altitudine.

In Figura 9 sono riportati i grafici di evoluzione della probabilità di innesco compresa tra 0 e 1, asse delle ordinate, rispetto all'evoluzione nello spazio delle variabili indipendenti più significative, asse delle ascisse.

Come è già stato evidenziato in precedenza, il comportamento delle variabili indipendenti non è stato simile nelle due aree di studio ad eccezione della variabile *distanza dalla rete stradale*. La probabilità di innesco rispetto alla quota mostra differenti andamenti, essendo differenti le due strutture territoriali. Ricordiamo che la zona dei Castelli Romani ha altezze collinari ed è un'area dove si localizzano centri ed infrastrutture varie. Per quello che riguarda la distanza dalle aree urbane, sorprende la relazione diretta con gli inneschi nel caso di studio di Roma. In questo caso l'importante continuo urbano metropolitano potrebbe aver condizionato il risultato rispetto all'ipotesi di lavoro. In generale, osserviamo come la discriminazione spaziale sia più debole nella zona di Latina che presenta curve meno inclinate.

Un aiuto per capire i risultati statistici può arrivare dalla lettura delle correlazioni dei punti di innesco rispetto agli usi del suolo ed alle quote - fattori di forte caratterizzazione del fenomeno incendi boschivi. La tabella di correlazione (Figura 10) mostra come la localizzazione dei punti di innesco per la zona di Roma deve generare attenzione per le zone di latifoglie, mentre la coincidenza con quote intermedie ci ricorda che la maggior pressione antropica è presente in zona collinare.

L'analisi dei punti di innesco nella zona di Latina ne evidenzia alte percentuali nelle classi del suolo ad uso agricolo. Questo ci induce a pensare un preoccupante disagio dell'attività agricola che non

vive più in simbiosi con l'ambiente circostante. Ad esempio, è sconcertante l'alto numero di inneschi in zone di ulivi. I punti di innesco sono localizzati rispetto alle quote in zone di pianura o in zone pedemontane.

	Uso del Suolo		Fasce altitudinali	
	07	08	07	08
Roma	29% Boschi di latifoglie 22% Sup.Princ.Agricola 11% Aree Agric. strutt.complexa 10% Oliveti 10% Terre arabili 10% Aree di transizione boschiva	79% Boschi di latifoglie	41% 400-600m 25% 600-800m 20% 200-400m	50% 600-800m 20% 400-600m
Latina	29% Aree con vegetazione sparsa 13% Sup.Princ.Agricola 10% Vegetazione sclerofila 9% Aree di transizione boschiva 7% Oliveti	21% Oliveti 16% Aree con vegetazione sparsa 11% Sup.Princ.Agricola 10% Aree di transizione boschiva 8% Aree Agric. strutt.complexa	42% 0-200m 34% 200-400m 13% 400-600m	46% 200-400m 41% 0-200m

Figura 10 – Presenza dei punti di innesco rispetto agli usi del suolo ed alle fasce altitudinali.

Conclusioni

La disponibilità anche per la Regione Lazio di dati sui punti di innesco ad elevata accuratezza posizionale (Punti GPS) ha consentito di applicare la metodologia della regressione logistica già con successo sperimentata in Catalunya (Modugno et al. 2008)

Lo studio ha sottolineato come ogni territorio ha le sue caratteristiche che vanno lette con un'attenta analisi geografica per meglio comprendere i valori statistici. Anche se il Modello 3 si è mostrato nelle due aree di test il più significativo, confermando la responsabilità della pressione antropica nell'apparizione dei focolai, le variabili indipendenti non hanno assunto sempre comportamenti univoci (Figura 9).

La regressione logistica si conferma come una metodologia obiettiva ed idonea nel relazionare variabili dicotomiche con un insieme di variabili di importanza non nota. I Modelli 2 e 3 evidenziano l'efficacia della variabile dipendente rappresentata dai punti GPS. La presenza di questi dati, infatti, permette di capire a posteriori le dinamiche di innesco a scale sub-provinciali senza dover ricorrere alla generalizzazione dei "punti centroidi". I modelli di RLO sembrano, comunque, addebitare all'attività antropica un ruolo determinante nell'apparizione degli inneschi essendo le variabili umane più significative delle biofisiche.

Ringraziamenti

Si ringrazia: il programma di *Formacion de Profesorado Universitario* del *Ministerio de Educacion y Ciencia* spagnolo, il departament de Geografia de la UAB grup de Geografia Aplicada SGR 2001-00153 finanziato dalla GENCAT, il Corpo Forestale dello Stato per la concessione dei dati inerenti alle aree percorse del fuoco e punti di innesco, il CNR-IMAA per la concessione dei dati MODIS, il servizio Glovis-NASA per le immagini Landsat, Intergaph Italia LLC per le tecnologie GIS messe a disposizione per la sperimentazione presso l'Università Tor Vergata dipartimento di Ingegneria Elettronica.

Bibliografia

- Badia A., Serra P., Modugno S. (2011), *Identifying dynamics of fire ignition probabilities in two representative Mediterranean wildland-urban interface areas*. Applied Geography. 31: 930-940.
- Ciccacci S., D'Alessandro L., Davoli L., La Monica G.B., Lupia Palmieri E. (1987), *Caratteristiche Climatiche, Valutazione della Situazione Ambientale del Lago di Nemi*, Roma: Università degli Studi di Roma "La Sapienza" e Provincia di Roma. 17-45.
- Chuvieco E., Cocero D., Riaño D., Martín P., Martínez-Vega J., De la Riva J., Pérez F. (2004), *Combining NDTI and surface temperature for the estimation of live fuel moisture content in forest fire danger rating*. Remote Sensing of Environment. 92: 322-331.
- Cornellini P., Petralla P. (2006), *Lineamenti della flora e della vegetazione dell' Lazio*. In *Manuale di Ingegneria Naturalistica*. Regione Lazio. 3: 99-105.
- Funciello R., Giordano G., De Rita D. (2003), *The Albano maar lake (Colli Albani Volcano, Italy): recent volcanic activity and evidence of pre-Roman Age catastrophic lahar events*. 123: 43-61.
- Guo G., Zhou M., (2004), *Using MODIS Land Surface Temperature to Evaluate Forest Fire Risk of Northeast China*. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. 1, 2: 98-100.
- Mather A.S. (1992), *The forest transition*. Area. 24,4 : 367-379.
- Modugno S., Serra P., Badia A. (2008), *Variabili fisiche ed umane nell'evoluzione del rischio d'incendio in un'area urbana-forestale*. Atti XII Conferenza Nazionale ASITA, 21-24 ottobre 2008, L'Aquila. 1499-1504.
- Regione Lazio (2008) *Piano Anti Incendi Boschivi*. Bollettino Ufficiale Regione Lazio. 39: 395.
- Radeloff V.C., Hammer B.R., Stewart J.S., Fried S.S., Holcomb S., McKeefry J. F. (2005), *The Wildland-urban interface in the United States*. Ecological Application. 15: 799-805.
- Stewart, S.I., Radeloff V.C., Hammer, R.B., Hawbaker, T.J. (2007), *Defining the Wildland-urban interface*. Journal of Forestry. 105: 201-207.
- Terradas J. (2001), *Ecología de la vegetación*. Ediciones Omega. Barcelona. 703.

Validazione di un algoritmo per la stima della manto nevoso basato su dati MODIS a 250 m con immagini LANDSAT e dati a terra

Nico Mölg (*), Martial Duguay (*), Thomas Schellenberger (*),
Anke Tetzlaff (*), Armin Costa (*), Luca Irsara (**), Roberto Monsorno (*),
Christian Steurer (*), Marc Zebisch (*), Claudia Notarnicola (*)

(*) EURAC-Institute for Applied Remote Sensing, Viale Druso 1, Bolzano, Italia
(**) QBUS s.r.l., Abtei/Badia, Italy

Riassunto

Le mappe della neve contenute nei prodotti standard MODIS MOD10 sono utilizzate in numerosi contesti applicativi, sebbene uno dei problemi di cui risentono maggiormente, a causa della risoluzione di 500 m, è legato alla difficoltà di monitorare in modo accurato ambienti con notevole variabilità su piccola scala. Questa necessità, spesso evidenziata per il monitoraggio delle aree alpine, ha portato allo sviluppo di algoritmi che sfruttino la massima risoluzione del sensore MODIS ossia 250 m. In questo lavoro viene presentata la validazione di un algoritmo per la discriminazione della copertura nevosa ottenuta considerando esclusivamente le informazioni contenute nelle bande con risoluzione di 250 m. L'algoritmo include un modulo per la copertura nuvolosa specificatamente sviluppato e verificato per le aree alpine e sull'area europea. Per la validazione dell'algoritmo, sono stati utilizzati sia i dati satellitari a più alta risoluzione LANDSAT (30 m) che dati a terra di stazioni nivometriche distribuite sul territorio dell'Europa Centrale. Il confronto delle mappe MODIS con quelle derivate dal sensore LANDSAT indica un accordo pari a 93.6% su 16 immagini analizzate. Il disaccordo fra i due dati risiede essenzialmente nelle aree ricoperte da foreste vista la ben nota difficoltà di rilevare la neve al di sotto del manto vegetale denso.

Nel confronto con i dati a terra, sono state analizzate circa 148 stazioni distribuite fra Germania, Austria, Italia e Slovacchia. Nella maggior parte delle aree l'accuratezza è del 95% e diminuisce fino a 80% in aree con pendenze elevate ed esposizione Nord che rimangono prevalentemente in ombra durante l'acquisizione mattutina del satellite TERRA.

Abstract

Despite the availability and general performance of the MODIS MOD10 Snow Product, obvious limitations affect the monitoring of local environment and stress the need for an adapted and robust algorithm to map snow cover with the highest possible amount of spatial details. They can enable an improved determination of snow as well as more accurate depiction of the winter snowline.

This paper presents the extensive validation of an algorithm for snow cover monitoring based on MODIS satellite images. In the proposed approach, the main goal is to maintain the resolution as high as possible thus exploiting the 250 m resolution bands of MODIS. Having snow maps at 250 m improves notably the snow detection, especially in mountainous areas, characterized by extreme landscape variability. The detection algorithm also includes a dedicated cloud mask which has been already verified over the Alpine area and Central Europe. The data are processed at EURAC's processing & archiving facility conceived to deal with near-real time images, directly received through the EURAC receiving station located at Renon Peak (2230m).

The algorithm validation activities are carried out by using: high resolution snow maps derived from LANDSAT images and snow depth data from ground stations in selected test sites in Central Europe. A comparison of MODIS images to sixteen snow cover maps derived from LANDSAT showed an overall accuracy of 93.6 %. The residual mismatch area is often linked to forest, presumably due to changes in forest areas and is therefore linked to limited abilities of MODIS to accurately detect the snow under forest especially under extreme illumination conditions.

For the comparison with ground data, snow depth measurements from 148 ground stations in Germany, Austria, Italy and Slovakia were used. In most of the areas, the overall accuracy is around 95%. It decreases to around 80% in very rugged terrain restricted to in-situ stations along Northern facing slopes, which lie in shadow in winter during the early TERRA acquisition.

Introduzione

La conoscenza dell'estensione del manto nevoso e delle sue variazioni stagionali costituiscono informazioni chiave in numerosi campi di applicazione come l'idrologia, la meteorologia, la prevenzione di disastri naturali (alluvioni e valanghe). Negli ultimi anni, abbondanti nevicate si sono alternate con periodi siccitosi, sulle Alpi, dando luogo ad eventi valanghivi significativi oppure periodi di magre primaverili ed estive. Alcune di queste considerazioni anche in riferimento alla evoluzione stagionale ed inter-annuale del manto nevoso, possono essere seguite con gli strumenti propri del telerilevamento. In questo contesto, grazie alla sua alta frequenza temporale, il sensore NASA MODIS (*Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer*) è utile per molte applicazioni globali e regionali legate all'evoluzione del manto nevoso (Hall et al., 2002; Wang et al., 2008). Tuttavia, per analisi regionali e/o locali, i prodotti MODIS standard MOD10 non sempre sono soddisfacenti ed in numerosi lavori si evidenzia la necessità di sviluppi che tengano in considerazione gli aspetti locali dell'area di studio (Hall & Riggs, 2007; Hall et al., 2002; Klein & Barnett, 2003; Liang et al., 2008; Maurer et al., 2003; Zhou et al., 2005). Alcune delle limitazioni che il prodotto MOD10 presenta a livello locale sono: la risoluzione spaziale di 500 m ed la scarsa accuratezza della copertura nuvolosa. Questo lavoro presenta lo sviluppo di un nuovo algoritmo per la copertura nevosa e la relativa validazione tramite l'uso di immagini LANDSAT e dati a terra derivanti da stazioni nivometriche. L'algoritmo comprende sia l'utilizzo delle bande MODIS a 250 m ed un modulo per la copertura nuvolosa (Cappelluti et al., 2006, Notarnicola et al., 2011).

Il lavoro si articola nel seguente modo. Dopo una descrizione dell'area di studio e dei dati satellitari ed ausiliari utilizzati, viene introdotto l'algoritmo con i suoi aspetti specifici. I risultati derivanti dall'applicazione di questo algoritmo vengono poi validati con le mappe della neve ottenute da dati LANDSAT e con i dati a terra di stazioni nivometriche. Vengono, infine, presentati e discussi i risultati della validazione.

Descrizione dell'area di studio, dei dati satellitari ed ausiliari

L'area di test considerata per le attività di definizione dell'algoritmo per la mappatura della neve con dati MODIS a 250 m è relativa all'Europa Centrale definita dalle coordinate geografiche riportate in tabella 1.

	Longitudine (gradi)	Latitudine (gradi)
Nord-Ovest	5.0	51.0
Sud-Est	30.0	42.0

Tabella 1 – Coordinante geografiche indicanti i limiti dell'area di studio.

In tale area rimangono escluse gran parte delle aree scandinave e la zona centrale e sud della Spagna.

I dati MODIS necessari per lo sviluppo dell'algoritmo sono i seguenti:

- MODIS MOD09GQ e MOD09GA (TERRA – AQUA): dati di riflettenza corretta per il contributo atmosferico con bande a risoluzione di 250m e 500m;
- MODIS MOD021KM, dati di riflettenza non corretta per il contributo atmosferico con bande a risoluzione di 1 km utilizzati per l'identificazione della copertura nuvolosa;
- MOD03 : data set utile alla corretta geolocalizzazione del dato.

Come dati ausiliari sono stati considerati: un modello digitale del terreno (DEM) derivante da dati SRTM ricampionato a 250 m; mappe di uso del suolo per le varie classi forestali (conifere, latifoglie e boschi misti) estratte dalla carta CORINE Landcover 2006 disponibile al seguente sito web :

http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data#c12=corine+land+cover+version+13&b_start=0&c17=CLC2006.

Per l'area della Svizzera, è stata considerata la mappa elaborata dal Joint Research Center (JRC) disponibile al seguente sito web: <http://forest.jrc.ec.europa.eu/forest-mapping>

Per la validazione sono state considerate immagini LANDSAT 7 ETM+ relative al periodo di studio Agosto 2005- Luglio 2006 acquisite in contemporanea con il dato MODIS e che presentavano un limitata copertura nuvolosa. I dati a terra considerati nello stesso periodo provengono da stazioni nivometriche ubicate in Austria, Germania, Slovacchia ed Italia (Alto-Adige).

Algoritmo per la generazione delle mappe della neve da dati MODIS

La seguente sezione contiene una breve descrizione degli vari algoritmi utilizzati per il calcolo della copertura nevosa. Lo schema generale dell'algoritmo è riportato nella figura 2.

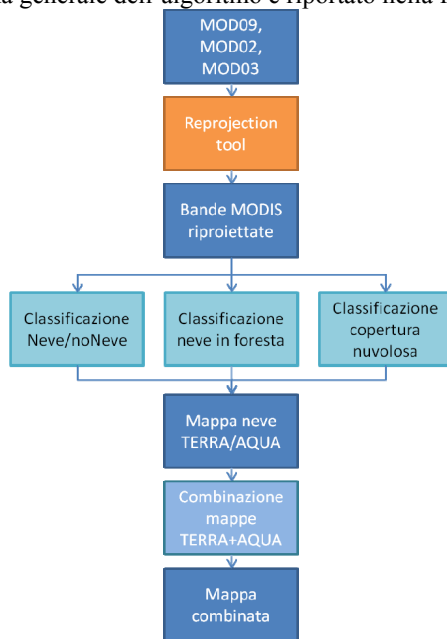


Figura 2 – Diagramma di flusso utilizzato per la determinazione delle mappe della neve con le immagini MODIS.

Nella fase iniziale di pre-elaborazione tutti i dati MODIS (MOD09, MOD02 e MOD03) ed in particolare le bande utilizzate nell'algoritmo vengono riportati nella proiezione ETRS-LAEA. Il modulo di riproiezione è sviluppato in modo da poter elaborare sia i prodotti standard MODIS che i granuli derivati direttamente da stazioni di ricezione satellitare come quella appartenente all'EURAC situata sul corno del Renon (Steurer et al., 2011).

L'individuazione delle classi avviene tramite l'uso di un classificatore a soglie, con valori che sono ottimizzati per tenere in considerazione la variabilità tipica dell'area di studio. Il vantaggio principale di questo algoritmo rispetto allo standard MODIS MOD10 è l'utilizzo esclusivo della banda 1 e 2 per la rivelazione delle classi Neve/NoNeve con conseguente maggiore risoluzione del prodotto finale (250 m). Il concetto applicato in questo algoritmo è sviluppato da Metsämäki et al., 2002 and Malcher et al., 2003 si basa sul fatto che la copertura nevosa può essere ben discriminata con l'uso delle bande del rosso e del vicino infrarosso, nonché con l'indice NDVI (*Normalized Differential Vegetation Index*) da esse derivato.

Una parte del classificatore è anche dedicato alla rilevazione della neve sotto le foreste ottenuta confrontando gli indici NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) fra un'immagine invernale e un'immagine estiva usata come riferimento (Klein et al., 1998).

Per la copertura nuvolosa si è applicato l'algoritmo sviluppato da Cappelluti et al., 2006, e validato da Notarnicola et al., 2011 che sfrutta un adattamento locale delle soglie al fine di meglio adattare la discriminazione dei corpi nuvolosi alle caratteristiche peculiari dell'area di studio.

Infine, per ridurre i problemi legati alla presenza delle nubi, e la presenza di "no data" dovuti all'angolo di incidenza del sensore e alla topografia, nelle stesse date, è stato inserito un modulo che combina le mappe della neve derivate da MODIS TERRA ed AQUA.

L'algoritmo fornisce in uscita anche alcuni indici di qualità relativamente alla qualità dei dati di input, alla mappatura della neve basato sull'indice NDSI (*Normalized Differential Neve Index*) ed alla mappa di copertura nuvolosa basandosi sulle classi di probabilità che vengono definite all'interno dell'algoritmo stesso di copertura nuvolosa (Cappelluti et al., 2006, Ackermann et al., 2006).

Validazione dell'algoritmo con dati LANDSAT e discussione dei risultati

Per la determinazione delle mappe della neve da dati LANDSAT è stato utilizzato un algoritmo sviluppato da Hall et. al., 1995 e successivamente adattato soprattutto per quanto riguarda le aree montane da Rastner et al., 2009. Per il periodo 2005/2006, 16 immagini LANDSAT 7 ETM+ sono state scelte in modo che fossero distribuite omogeneamente sull'area di studio e nell'arco temporale considerato, con scarsa copertura nuvolosa ed elaborate con l'algoritmo sopracitato. Per il dato MODIS, il confronto è avvenuto con le mappe derivate dalle acquisizioni del sensore TERRA.

Poiché l'obiettivo è la valutazione delle classi Neve/NoNeve sono state mascherate le seguenti aree:

- Corpi nuvolosi presenti sia nel dato MODIS che in quello LANDSAT (si sottolinea che i dati anche se acquisiti lo stesso giorno presentano un'ora di acquisizione differente);
- I corpi idrici;
- I valori non elaborati dovuti ad errori nel dato di input ed indicati come "no data";
- Le aree affette da errore delle immagini LANDSAT7 ETM+ che dal 2003 a cause di un malfunzionamento del sensore si presentano sottoforma di strisce equispaziate dove è totalmente assente il segnale registrato dal sensore (http://landsat.usgs.gov/products_slc_off_data_information.php).

La mappa LANDSAT infine viene ricampionata a 250 m con una soglia pari a 50% per l'identificazione di un pixel aggregato come classe "Neve". Un esempio di confronto fra le due mappe è mostrato in fig. 3.

Nel confronto fra mappe MODIS e LANDSAT, sebbene un accordo generale buono soprattutto a livello di *pattern* spaziali e con una accuratezza intorno al 90%, sono state individuate aree particolarmente critiche dove la discriminazione della neve da parte del sensore LANDSAT può essere difficoltosa, come le aree coperte da foreste, le aree in ombra nei mesi invernali e le aree al limitare dei corpi nuvolosi. Per localizzare meglio la distribuzione degli errori, sono state mascherate oltre a quelle aree già incluse all'inizio quali corpi idrici, *no data*, corpi nuvolosi ed errori LANDSAT, successivamente prima le aree ai bordi dei corpi nuvolosi e le zone in ombra e poi anche le foreste. I risultati globali di accuratezza su tutte le scene analizzate sono riportati nel grafico in fig. 4.

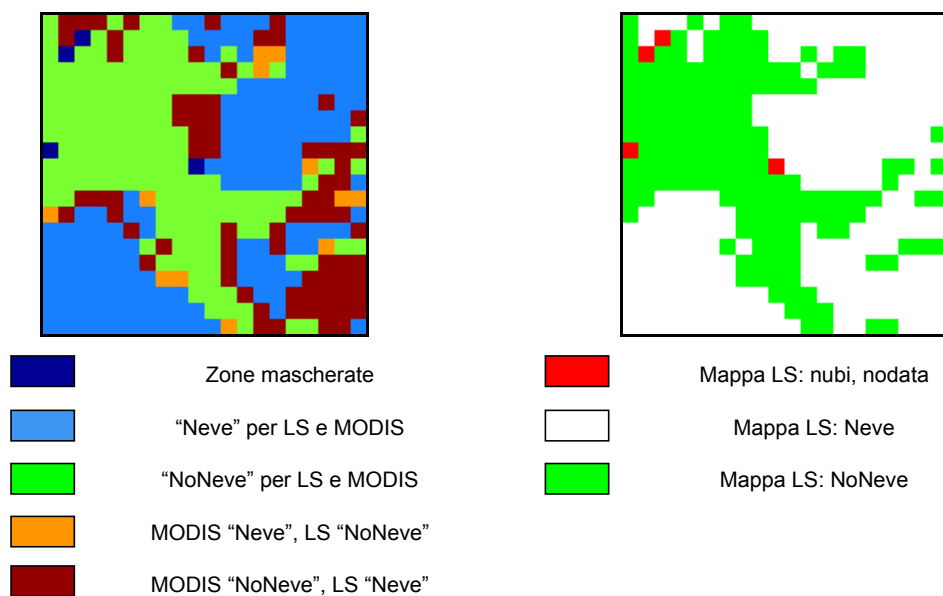


Figura 3 – Esempio di confronto fra le mappe MODIS e LANDSAT (LS).

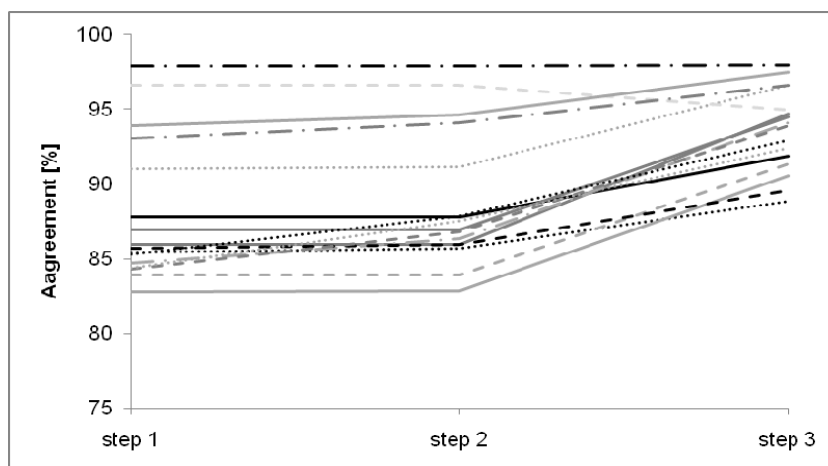


Figura 4 – Valori di accuratezza sulla classe “neve” in tre fasi successive. Step1: mascheramento dei corpi idrici, nuvolosi, nodata ed errori LANDSAT; step 2: mascheramento delle aree in ombra e delle aree ai bordi dei corpi nuvolosi; step 3: mascheramento delle aree di foresta.

Si osserva che nel passare dal passaggio 1 al passaggio 2 non si ottiene un netto miglioramento, quale è invece evidente con l’aggiunta del passaggio 3. Questo indica quindi che la discriminazione della neve in aree di foresta rimane un problema, che ovviamente non può essere imputabile solo al dato MODIS, ma può ritrovarsi anche nella classificazione del dato LANDSAT. La classificazione della neve nelle aree forestate è riconosciuto essere un problema legato anche all’utilizzo di tecniche automatiche di discriminazione delle neve basato su soglie fisse (Hall et al. 2000; Klein et al. 1997; Klein et al. 1998). In tabella 5, vengono riportati i risultati ottenuti nel caso del passaggio 3

indicato nella fig.4, dove sono anche indicati gli errori di omissione e commissione per le diverse scene analizzate. Per ogni scena è indicato la data di acquisizione ed il track e frame del dato LANDSAT (e.g. 20060302_183026: data 20060302, track 183, frame 026).

20060302_183026	MODIS			Overall match	20060206_191028	MODIS			Overall match
	neve	no neve				neve	no neve		
Landsat	neve	96.99	0.73		Landsat	neve	26.37	0.96	
	no neve	1.31	0.97			no neve	4.94	67.73	
			97.96						94.1
20060302_183027	MODIS			Overall match	20051202_193025	MODIS			Overall match
	neve	no neve				neve	no neve		
Landsat	neve	95.55	0.09		Landsat	neve	56.41	0.51	
	no neve	3.32	1.04			no neve	9.93	33.14	
			96.59						89.55
20060309_184027	MODIS			Overall match	20060204_193028	MODIS			Overall match
	neve	no neve				neve	no neve		
Landsat	neve	86.91	3.22		Landsat	neve	55.24	3.41	
	no neve	7.93	1.94			no neve	2.67	38.68	
			88.85						93.92
20060325_184027	MODIS			Overall match	20060612_193028	MODIS			Overall match
	neve	no neve				neve	no neve		
Landsat	neve	41.96	1.02		Landsat	neve	4.15	0.47	
	no neve	8.45	48.57			no neve	4.58	90.8	
			90.53						94.95
20060307_186025	MODIS			Overall match	20051107_194027	MODIS			Overall match
	neve	no neve				neve	no neve		
Landsat	neve	84.08	1.84		Landsat	neve	5.38	1.78	
	no neve	6.31	7.77			no neve	0.75	92.08	
			91.85						97.46
20060307_186026	MODIS			Overall match	20060202_195028	MODIS			Overall match
	neve	no neve				neve	no neve		
Landsat	neve	91.41	1.58		Landsat	neve	64.25	4.42	
	no neve	3.7	3.31			no neve	3.19	28.14	
			94.72						92.39
20060321_188026	MODIS			Overall match	20060202_195029	MODIS			Overall match
	neve	no neve				neve	no neve		
Landsat	neve	57.35	1.83		Landsat	neve	49.33	3.34	
	no neve	6.85	33.97			no neve	3.74	43.59	
			91.32						92.92
20060206_191026	MODIS			Overall match	20060313_196029	MODIS			Overall match
	neve	no neve				neve	no neve		
Landsat	neve	94.19	0.22		Landsat	neve	13.02	0.39	
	no neve	5.26	0.33			no neve	3	83.59	
			94.52						96.61

Tabella 5– Matrici di confusione per le classi Neve e NoNeve fra MODIS e LANDSAT 7 ETM+.

Validazione dell'algoritmo con dati a terra e discussione dei risultati

Le mappe MODIS sono state anche confrontate con dati derivanti da 148 stazioni nivometriche localizzate in Austria, Germania, Slovacchia e Italia. Lo scopo di questo ulteriore confronto è:

- Verificare l'accuratezza globale del prodotto MODIS anche in riferimento a dati a terra;
- Valutare come tale accuratezza cambia nel tempo;
- Localizzare le eventuali discrepanze fra dato MODIS e dato delle stazioni a terra.

I dati delle stazioni tedesche coprono la parte centrale e sud della Germania e sono stati ottenuti grazie al servizio meteorologici tedesco (*Deutscher Wetterdienst*), i dati delle stazioni austriache appartengono alla provincia *Land Niederösterreich*, i dati delle stazioni italiane provengono dalla provincia autonoma di Bolzano, i dati delle stazioni slovacche coprono l'intera nazione e sono del centro slovacche per le valanghe.

Le acquisizioni sono continue per tutto il periodo 2005/2006 per Germania, Austria, Slovacchia e due stazioni in Alto Adige. Il confronto fra un dato puntuale ed uno spazialmente distribuito pone dei problemi legati al fatto che il dato puntuale spesso non è rappresentativo dell'intera area occupata da un pixel MODIS (250m x 250m). I risultati di tale confronto sono riportati in tabella 6 ed indicano una variabilità nell'accuratezza tra 82% e 94%.

Germania del Sud		EURAC MODIS PRODUCT			
		Neve [%]	No neve [%]	Total	
in situ	Neve [%]	85.4	14.6	460	OA
in situ	No neve [%]	4.9	95.1	2735	93.7
Alto Adige (Italia)		EURAC MODIS PRODUCT			
		Neve [%]	No neve [%]	Total	
in situ	Neve [%]	79.2	20.7	1458	OA
in situ	No neve [%]	6.0	94.0	400	82.4
Austria del Sud		EURAC MODIS PRODUCT			
		Neve [%]	No neve [%]	Total	
in situ	Neve [%]	85	15	2567	OA
in situ	No neve [%]	9.7	90.3	13607	89.5
Slovacchia		EURAC MODIS PRODUCT			
		Neve [%]	No neve [%]	Total	
in situ	Neve [%]	72.1	27.9	365	OA
in situ	No neve [%]	6.1	93.9	704	86.4

Tabella 6 – Matrici di confusione del confronto tra mappe MODIS e dati delle stazioni nivometriche.

Si osserva una marcata dipendenza nel valore dell'accuratezza totale del numero di osservazioni in presenza o assenza di neve. Se il numero di stazioni in presenza di neve è maggiore si ottiene una diminuzione nel valore dell'accuratezza dovuto al fatto che l'errore di commissione (fra 5% e 10%) è sempre più basso dell'errore di omissione (fra 15% e 28%) in tutte le aree osservate. Questi errori per i siti in Germania ed Austria sono confrontabili con i risultati ottenuti da Parajka and Böschl (2006), con il prodotto standard MODIS MOD10 in Austria. In ogni caso, si osserva che mentre Parajka and Böschl (2006) hanno effettuato un confronto considerando solo giorni con completa assenza di copertura nuvolosa, nel nostro studio questa selezione non è stata effettuata.

Tekeli et al. (2005) osservano che alti valori di accuratezza (>88%) per il prodotto MOD10 si raggiungono solo in caso di assenza di corpi nuvolosi.

I valori di accuratezza per le aree dell'Austria e della Germania mostrano un andamento stagionale come indicato in tabella 7 con i valori più bassi durante i mesi invernali come anche rilevato per il prodotto standard MOD10.

Mese	Accuratezza globale in %	
	Germania	Austria
Agosto 05	98.2	98.5
Settembre 05	97.7	97.7
Ottobre 05	96.2	97.2
Novembre 05	90.5	89.9
Dicembre 05	80.2	68.8
Gennaio 06	81.3	71.4
Febbraio 06	87.1	68.0
Marzo 06	88.6	68.3
Aprile 06	92.7	90.5
May 06	95.4	96.4
Giugno 06	96.8	97.6
Luglio 06	96.1	99.3

Tabella 7 – Andamento stagionale dei valori di accuratezza per le stazioni localizzate in Germania e Austria.

Per quanto riguarda i valori bassi di accuratezza dell'area dell'Alto Adige si nota che le stazioni con i valori più bassi di accuratezza (tabella 8) Ausserrojen, Klausberg e Stausee Zoggl sono tutte situate su pendii molto ripidi ed esposizione Nord, Nord-Ovest, Nord-Est scarsamente illuminati nei periodi invernali durante l'ora di acquisizione del sensore MODIS-TERRA. Nell'algoritmo le aree che sono in ombra e dalle quali non è possibile ricavare alcuna informazione dal segnale registrato vengono mascherate imponendo un valore limite per la riflettanza. Ne consegue che questi risultati indicano la necessità di una ulteriore analisi e di imporre probabilmente soglie più restrittive. Le due stazioni localizzate in Germania, Frankfurt Airport e Zugspitze, con i valori di accuratezza più bassi rispetto agli altri della stessa regione, risultano essere non rappresentativi dell'area. Il primo localizzato nelle vicinanze dell'aeroporto di Francoforte è una zona molto eterogenea che include in un'area di 250 m anche costruzioni ed edifici. Il secondo è localizzato in cima ad un rilievo montuoso circondato da pendii molto scoscesi.

Germania		Italia (Alto Adige)	
Station	Overall Agreement	Station	Overall Agreement
Augsburg	96.0	Ausserrojen	67.5
Bamberg	97.4	Ciampinoi	83.3
Fichtelberg	92.0	Gitschberg	88.2
Frankfurt	84.0	Klausberg	65.4
Hof	98.0	Lazauneralm	100.0
Hohenpeissenberg	91.7	Maritsch	78.4
Karlsruhe	96.6	Melag	96.7
Kempten	97.3	Obereggen	98.8
Konstanz	94.3	Pfelders	74.4
Linderberg	92.5	Piz la Ila	85.5
Meiningen	94.8	Rossbänke	97.6
München	95.9	Sexten	99.0
Nürnberg-Bahrweiler	95.5	Stausee Neves	93.0
Nürnberg	95.9	Stausee Zoggl	65.9
Saarbrücken	95.2	Waidmannalm	95.1
Straubing	96.4	Weissbrunn	90.8
Stuttgart	97.4		
Trier	95.7		
Würzburg	92.9		
Zugspitze	80.4		

Tabella 8 – Andamento dei valori di accuratezza per le diverse stazioni localizzate in Germania ed Italia (Alto Adige).

Conclusioni

In questo lavoro è stata presentata l'analisi per la validazione di un nuovo algoritmo per la determinazione di mappe della copertura nevosa con dato MODIS a 250 m.

Nel confronto con il dato LANDSAT si ottiene un valore di accuratezza sulle classi Neve/NoNeve pari al 94% quando vengono esclusi oltre ai corpi idrici, nuvolosi, errori nel dato LANDSAT, no data anche l'area relativa alla copertura forestale. La differenza nell'inclusione o esclusione di questa copertura determina un incremento del 4% sul valore totale di accuratezza.

Nel confronto con i dati a terra si rileva che il prodotto EURAC ha una accuratezza compresa fra 90% e 94% per le stazioni localizzate in Austria e Germania. I valori di accuratezza sono simili a quelli a quelli ottenuto dal prodotto MOD10 nella regione austriaca.

Gli errori di omissione sono più alti per Slovacchia ed Italia variabili fra 6% e 10% legati soprattutto a stazioni localizzate in aree che potrebbero essere in ombra durante le acquisizioni mattutine del sensore TERRA. Per le altre stazioni l'accuratezza varia fra 75% e 99%, risultato incoraggiante se si tiene in considerazione la complessa orografia dell'area alpina.

Prossimi sviluppi comprendono sia il miglioramento della correzione topografiche al fine di ridurre le problematiche con le zone in ombra e un confronto diretto con il prodotto MOD10.

Bibliografia

Ackerman, S., K.Strabala, P.Menzel, R.Frey, C. Moeller, L. Gumley, B.Baum, S. W. Seemann, and H. Zhang (2006), "Discriminating clear-sky from cloud with MODIS algorithm theoretical basis document (MOD35)", MODIS Cloud Mask Team Version 5.0 October 2006.

Cappelluti, G., Morea, A., Notarnicola, C., Posa, F. (2006), "Automatic detection of local cloud systems from MODIS data", *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, vol. 45, no.8, p. 1056-1072.

Hall, D.K., G.A. Riggs and V.V. Salomonson, (1995). "Development of methods for mapping global snow cover using moderate resolution imaging spectroradiometer data", *Remote Sensing of Environment*, 54, pp 127-140.

Hall, D.K., G.A. Riggs and V.V. Salomonson, V. V. (2000): MODIS/Terra Snow Cover 5-Min L2 Swath 500m V004, December 2003 to March 2004. http://nsidc.org/data/mod10_12.html.

Hall, D. K., Riggs, G., Salomonson, V. V., DiGirolamo, N. E., & Bayr, K. J. (2002), "MODIS snow-cover products", *Remote Sensing of Environment*, 83, 181-194.

Hall, D. K., & Riggs, G. A. (2007), "Accuracy assessment of the MODIS snow products", *Hydrological Processes*, 21, 1534-1547.

Klein, A.G., Hall, D. K., Riggs, G. A. (1997): Improving the MODIS Global Snow-Mapping Algorithm. In: IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium Proceedings, 619-621.

Klein AG, Hall D.K., Riggs, G.A. (1998), "Improving snow-cover mapping in forests through the use of a canopy reflectance model", *Hydrological Processes*, 12: 1723-1744.

Klein, A. G., & Barnett, A. C. (2003), "Validation of daily MODIS snow cover maps of the Upper Rio Grande River Basin for the 2000-2001 snow year", *Remote Sensing of Environment*, 86, 162-176.

Liang, T. G., Huang, X. D., Wu, C. X., Liu, X. Y., Li, W. L., Guo, Z. G., et al. (2008),"An application of MODIS data to snow cover monitoring in a pastoral area: A case study in Northern Xinjiang, China", *Remote Sensing of Environment*, 112, 514-526.

Malcher, P., Floricioiu, D., Rott, H. (2003), "Snow mapping in Alpine areas using medium resolution spectrometric sensors", *Proceedings Geoscience and Remote Sensing Symposium, IGARSS*, Volume 4, Page(s): 2835 - 2837.

Maurer, E. P., Rhoads, J. D., Dubayah, R. O., & Lettenmaier, D. P. (2003),"Evaluation of the snow covered area data product from MODIS", *Hydrological Processes*, 17, 59-71.

Metsämäki, S., Vepsäläinen, J., Pulliainen, J., & Sucksdorff, Y. (2002), "Improved linear interpolation method for the estimation of snow-covered area from optical data", *Remote Sensing of Environment*, 82, 64–78.

Notarnicola, C., Di Rosa, D., Posa, F. (2011), "Cross-Comparison of MODIS and CloudSat Data as a Tool to Validate Local Cloud Cover Masks", *Atmosphere* 2011, 2(3), 242-255; doi:10.3390/atmos2030242.

Parajka, J., and G. Blöschl, (2006), "Validation of MODIS snow cover images over Austria", *Hydrology and Earth System Sciences*, 10, 679 - 689.

Rastner, P., L. Irsara, T. Schellenberger, S. Della Chiesa, G. Bertoldi, S. Endrizzi, C. Notarnicola, C. Steurer, M. Zebisch, (2009), "Snow cover monitoring and modelling in the Alps using multi temporal MODIS data", *International Snow Science Workshop*, Davos, September 2009.

Steurer, C., Notarnicola, C., Monsorno, R., Tetzlaff, A., Costa, A., Irsara, L., Zebisch, M. (2011), "A user driven approach for a satellite data based near-realtime observing system at local/regional scale", *International Conference, Data Flow from Space to Earth Applications and Interoperability*, Venice, 21-23 Marzo.

Wang, X., Xie, H., & Liang, T. (2008), "Evaluation of MODIS snow cover and cloud mask and its application in Northern Xinjiang, China", *Remote Sensing of Environment*, 112, 1497–1513.

Zhou, X., Xie, H., & Hendrickx, M. H. J. (2005), "Statistical evaluation of remotely sensed snow-cover products with constraints from streamflow and SNOTEL measurements", *Remote Sensing of Environment*, 94, 214–231. doi:10.1016/j.rse.2004.10.007.

Il censimento delle reti di irrigazione dei comuni di Formigine, Spilamberto, Vignola, Savignano sul Panaro e Marano sul Panaro, in provincia di Modena

Giovanni Mondani

Dottore Agronomo Libero Professionista consulente Hera S.p.A.
Via Lazzaro Spallanzani 81, 41124 Modena (MO), Tel./Fax 059 8752231
e-mail giovannimondani@live.it, blog <http://studiomondani.blogspot.com/>

Riassunto italiano

Il presente lavoro, realizzato nel periodo 2005-2010, è stato commissionato da Hera S.p.A., ente gestore del Servizio Idrico Integrato nel territorio in esame, allo scopo di costituire un archivio informatizzato delle interferenze tra la fognatura pubblica e le reti di irrigazione superficiale secondaria esistenti nella zona di alta pianura della Provincia di Modena, alla luce delle alterazioni generate dai processi di urbanizzazione degli ultimi 60 anni.

L'archivio cartografico realizzato, compatibile con software gestionali in ambiente GIS, è un utile strumento nell'ambito dell'attività gestionale e manutentiva, nella programmazione di azioni di monitoraggio e verifica delle situazioni di criticità delle reti idriche, e nella pianificazione e progettazione integrata delle reti fognarie a servizio di nuovi insediamenti civili ed industriali.

Lo studio è stato condotto attraverso il puntuale rilievo delle modifiche occorse negli ultimi anni alla rete di condotti utilizzati per l'irrigazione e lo scolo (es. modifica del percorso, tombinatura, connessione alla pubblica fognatura, traslazione manufatti, cessazione dell'uso irriguo, ecc.), allo scopo di operare una verifica ed una successiva integrazione delle informazioni desumibili dalla Cartografia storica esistente.

Il lavoro svolto ha consentito la ridefinizione della rete di irrigazione e della rete fognaria nel territorio di 5 comuni dell'alta pianura modenese con restituzione di cartografia informatizzata compilata in formato dwg, di oltre 100 schede tecniche delle infrastrutture rilevate su files formato pdf e di oltre 800 fotografie georeferenziate ad alta definizione su files formato .jpg.

Abstract inglese

The present work, has been carried out between 2005-2010 year, it was commissioned by Hera S.p.A. in order to create a digital database about the interference between the public sewage and the secondary surface irrigation networks existing in the Province of Modena "high plains", developed during the latest 60 years of urbanization.

The digital Geographic(al) Information System could serve a dual purpose:

- to plan and program monitoring actions and assessment of existing critical situations; -
- to implement integrated design of new sewer systems to serve new settlements.

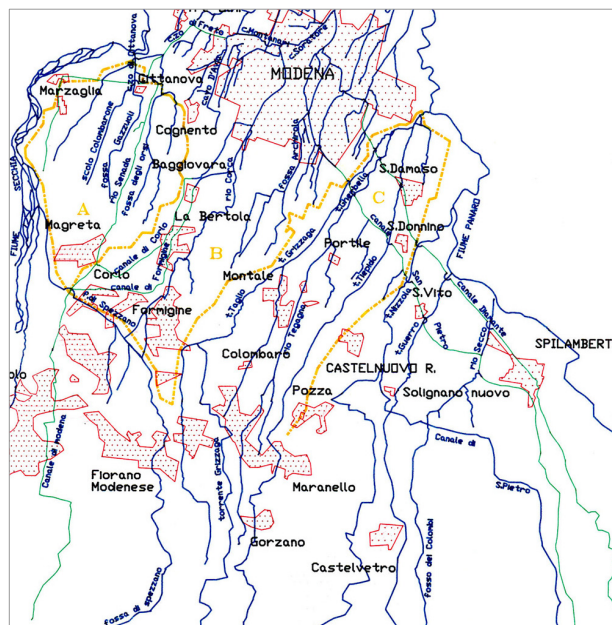
The irrigation networks considered belong to 7 districts of different land reclamation and irrigation, in whose archives have been carried out mapping studies, which formed the basis for subsequent field surveys.

The study was conducted through the major changes occurred to the network of pipes used for irrigation and drainage (eg, changing the location, manhole, connection to public sewer, translation products, end of irrigation, etc..) with inspection and integration of information that can be deduced from existing historical cartography.

The work done allowed the secondary surface irrigation network definition in 5 Municipalities of “Modena high plains” with high definition digital cartography in dwg format, combining over 100 technical infrastructure detected in pdf files and over 800 photographs and georeferenced high-definition files. Jpg format.

Descrizione dell'area di studio

L'alta pianura modenese è solcata da un reticolo idrografico estremamente fitto e complicato e storicamente solo zone molto limitate sono, o sono state, in condizioni di sofferenza idraulica, dovuta per lo più non a condizioni di ristagno o di scolo inadeguato ma, spesso, alla straordinaria ricchezza di fontanili, risorgive spontanee che originavano dal sottosuolo in prossimità di Modena, attraversandola poi in canali di acque chiare.



Le testimonianze storico-cartografiche e i numerosi toponimi urbani ed extra-urbani, ancora oggi, sottolineano la stretta convivenza del territorio con l'acqua (figura 1).

Nelle zone agricole dell'alta pianura e pedecollina della Provincia di Modena buona parte delle aziende agricole utilizzano antichi sistemi di irrigazione cosiddetti per gravità (scorrimento e infiltrazione da solchi) che sfruttano le pendenze accentuate (2-5%) tipiche delle giaciture dei terreni di alta pianura, e consentono la distribuzione delle acque interamente per gravità senza ricorso a sistemi di sollevamento idraulico, grazie alla naturale soggiacenza dei terreni coltivati ed irrigati rispetto al reticolo irriguo, che risulta situato lungo le linee di dislivello (figura 2).

Figura 1 – Idrografia dell'alta pianura modenese.

Il reticolo idrografico “naturale” dell'alta pianura è ulteriormente complicato dai canali artificiali di acque torbide, che incrociano i primi portando verso la Città le acque dei fiumi Secchia e Panaro.

L'interconnessione tra il reticolo naturale e quello artificiale ha reso possibile l'espletamento della funzione irrigua anche da parte di corsi d'acqua naturali, fra i quali numerosi torrenti e rii, i quali hanno subito, da un secolo e mezzo a questa parte, notevoli cambiamenti morfologici, soprattutto legati ad interventi antropici; in un generale si è assistito ad una progressiva canalizzazione dell'alveo, con la scomparsa delle aree golenali.

I canali di origine artificiale, ivi compreso il reticolo di irrigazione superficiale oggetto di indagine, creati in origine con funzioni di irrigazione, scolo e produzione di forza motrice a servizio dei numerosi opifici presenti lungo i corsi d'acqua, conservano oggi una funzione irrigua, ridimensionata a seguito della graduale riduzione delle superfici agricole irrigabili, ed una funzione di scolo ed allontanamento delle acque meteoriche provenienti dalle aree urbanizzate, la cui importanza è cresciuta nel tempo per effetto dell'impermeabilizzazione dei terreni.



Figura 2 – Reti di irrigazione superficiale della zona alta pianura modenese.

Il notevole sviluppo dei centri urbani e delle rispettive reti viarie e di servizi, è alla base della stretta connessione tra reti irrigue e reti fognarie nell'area di studio, che in molti casi risultano afferenti alle stesse infrastrutture di derivazione (manufatti) e veicolazione (tubazioni) con frequenti episodi di uso promiscuo, interferenze e criticità idrauliche dovute ad inadeguatezza dimensionale e costruttiva, associate spesso a problematiche di carattere ispettivo all'interno dei centri storici.

Le reti di irrigazione prese in esame appartengono ai comprensori di 7 diversi Consorzi di bonifica e/o di irrigazione, aventi carattere pubblico e privato, presso i cui archivi sono state effettuate le ricerche cartografiche, che hanno costituito la base di partenza per i successivi rilievi sul campo.

Lo studio è stato condotto attraverso due fasi principali:

1) rilievo interferenze tra reticolo di irrigazione e reti di fognatura

- a) Ricerche per il recupero della cartografia storica esistente delle reti di irrigazione in gestione ai Consorzi Irrigui e di bonifica (figura 3);
- b) Rilievo aree agricole irrigabili per ciascun corso d'acqua e rispettivo comprensorio irriguo;
- c) Rilievo interferenze tra il reticolo di irrigazione ed il reticolo fognario dei centri abitati esistenti, in rapporto alla mappatura delle reti fognarie attive;
- d) Verifica in campo dei dati cartografici;
- e) Restituzione di cartografia digitale di confronto aggiornata delle interferenze tra reticolo di irrigazione e reticolo fognario su base ortofoto (figura 4).
- f) Stima indicativa dei volumi recapitati in fognatura dalla rete irrigua in relazione alla destinazione agronomica ed alle tecniche utilizzate nelle aree irrigate.

2) aggiornamento cartografico informatizzato

- a) Rilievo del reticolo irriguo e di scolo superficiale esistente e relative infrastrutture idrauliche
- b) Integrazione ed aggiornamento della cartografia tecnica regionale su base ortofoto
- c) Restituzione di cartografia digitale aggiornata delle reti di irrigazione (figura 5).

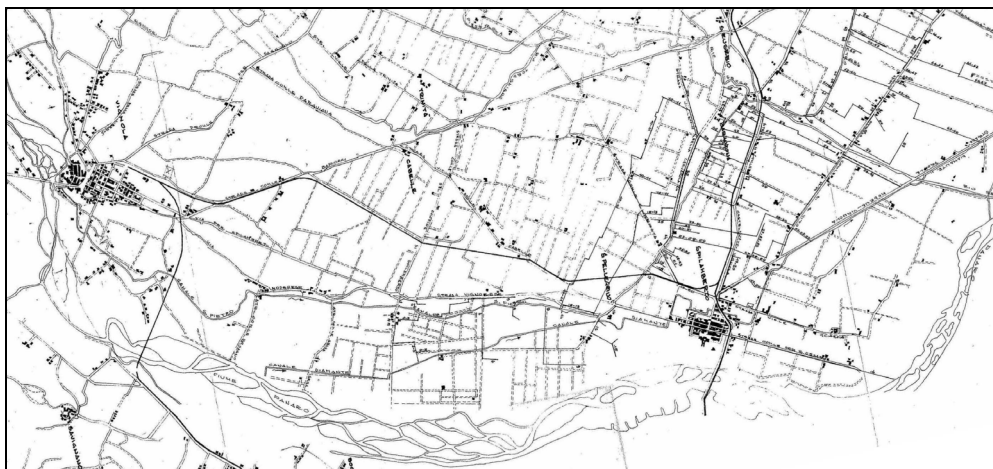


Figura 3 – estratto esemplificativo di carta storica delle reti di irrigazione sinistra idraulica del fiume Panaro - territorio dei comuni di Vignola e Spilamberto (MO).

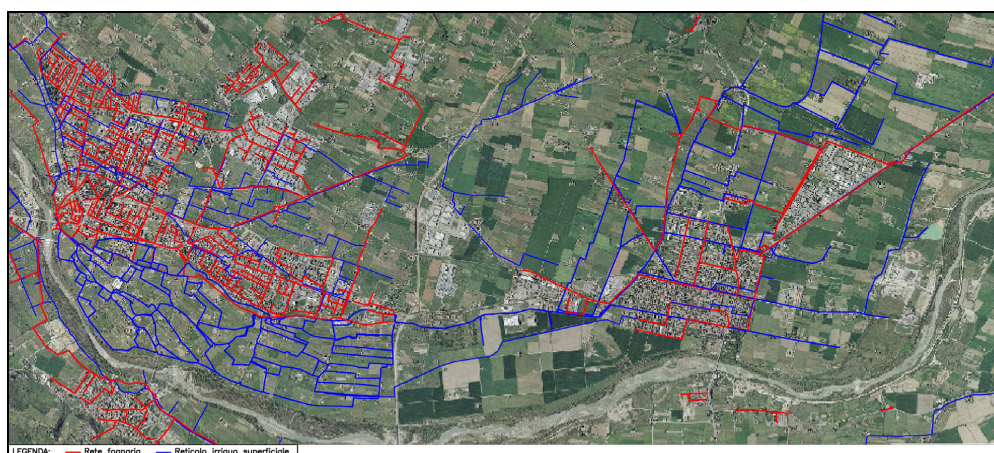


Figura 4 – interazioni tra rete fognaria (colore rosso) e rete di irrigazione (colore blu) sinistra idraulica del fiume Panaro - territorio dei comuni di Vignola e Spilamberto (MO).

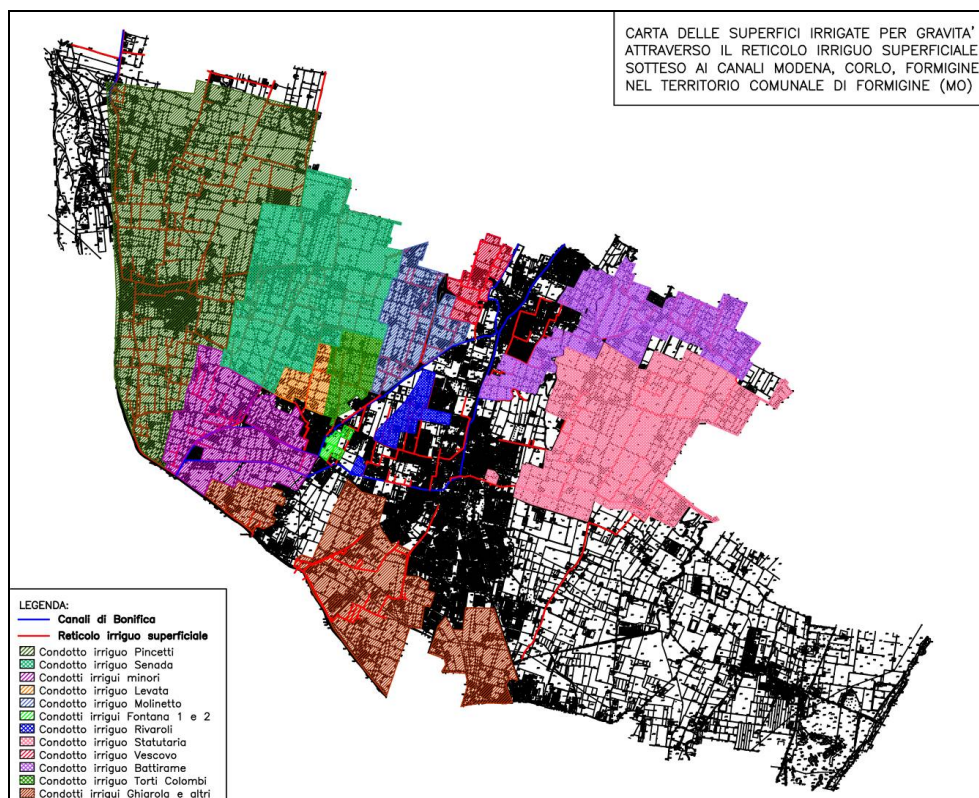


Figura 5 – Cartografia aggiornata delle reti di irrigazione e dei comparti irrigui del comune di Formigine (MO).

Si riportano di seguito le principali situazioni di criticità rilevate durante lo studio.

Interferenze minori tra il sistema fognario e quello di irrigazione

Le caratteristiche costruttive e funzionali delle reti di irrigazione rilevate, costruite con materiali che non garantiscono tenuta delle tubazioni, e la frequente intersezione tra rete scolante e fognaria all'interno di centri abitati determinano la presenza di fenomeni di occasionale sversamento in fognatura di acque irrigue per effetti di percolazione e filtrazione.

Tali fenomeni non sono considerati significativi ai fini del presente studio, in quanto l'apporto idrico supplementare stimato per tali interferenze a carico della fognatura non è risultato apprezzabile in termini volumetrici.

Interferenze di rilievo tra il sistema fognario e quello di irrigazione

Tali interferenze sono di tipo puntuale e caratterizzate da portate di scarico in fognatura di maggiore entità, la cui presenza può essere rilevata anche da una semplice ispezione delle rete, e monitorata presso gli impianti di depurazione, in termini di aumento/diminuzione dei volumi di reflui depurati sul medio periodo.

Al fine di individuare tali fenomeni, la rete fognaria afferente i diversi impianti di depurazione esistenti è stata indagata su larga scala in orari del giorno e periodi dell'anno corrispondenti a portate di scolo di magra, in modo da rendere più evidente la presenza eventuale di acque estranee.

La fognatura è stata percorsa ed ispezionata da valle verso monte sino a restringere l'area di ricerca ed individuare i punti di sversamento, e di conseguenza determinare la provenienza delle acque, la tabella 1 che segue riporta alcune delle interferenze di maggiore interesse emerse dallo studio.

n..	impianto depurazione sotteso	ubicazione scarico	attività scarico (gg/anno)	Q Scarico Stimata	volume sversato in fognatura (mc/anno)	Causa accertata
A	Savignano via magazzino	Garofano Via 25 aprile	120	50 l/s	518.400	rottura tubazione
B	Vignola via Barozzi	Vignola Via dell'Industria	365	10 l/s	315.360	funzione promiscua
C	Spilamberto Via Vignolese	Spilamberto Via Vignolese	30	20 l/s	53.840	Scolmatore irriguo

Tabella 1 – Alcune delle principali interferenze rilevate tra acque irrigue e rete fognatura

Interazioni di tipo funzionale tra il sistema fognario e quello scolante

Nei comuni oggetto di indagine il reticolo di scolo superficiale risulta strettamente interconnesso con la viabilità esistente, ed i centri abitati delle aree indagate conservano spesso reti fognarie a valenza mista.

Per tali ragioni una frazione rilevante delle acque meteoriche provenienti da superfici urbanizzate, seppure dotate di reti fognarie separate, viene convogliata in fognatura e successivamente agli impianti di depurazione.

Il fenomeno è implementato dal carattere promiscuo delle reti scolanti superficiali, spesso utilizzate come veicolo per le acque di irrigazione, e pertanto in parte invase durante il periodo di irrigazione estivo.

Tali fattori sono la principale causa del notevole incremento di portata delle reti fognarie in occasione di eventi meteorici di rilievo che, in taluni casi, determinano l'esondazione della rete fognaria all'interno di centri abitati per il superamento della portata massima consentita dalla rete.

Promiscuità della rete irrigua, che funge anche da recettore per scarichi di reflui civili all'interno dei centri abitati

Tali fenomeni si sono gradualmente ridotti e presentano oggi carattere isolato, in ragione del lavoro di costante monitoraggio e adeguamento degli allacciamenti alle reti fognarie da parte del gestore del servizio fognatura HERA S.p.A., in collaborazione con il Consorzio di Bonifica di Burana.

Casi di utilizzo promiscuo delle reti irrigue sono stati rilevati per lo più all'interno dei centri abitati, ove la rete irrigua risulta dotata peraltro di appositi manufatti di scarico delle portate di magra (reflui civili) all'interno della fognatura.

Si tratta spesso di opere idrauliche precarie non sempre funzionali, il cui adeguamento consentirebbe di migliorare l'efficienza generale delle reti idriche in esame.

Reti di irrigazione in disuso all'interno dei centri abitati

A titolo esemplificativo, nel solo centro abitato di Formigine (MO) sono stati rilevati **oltre 3.000 m** di fossi irrigui in disuso (figura 6).

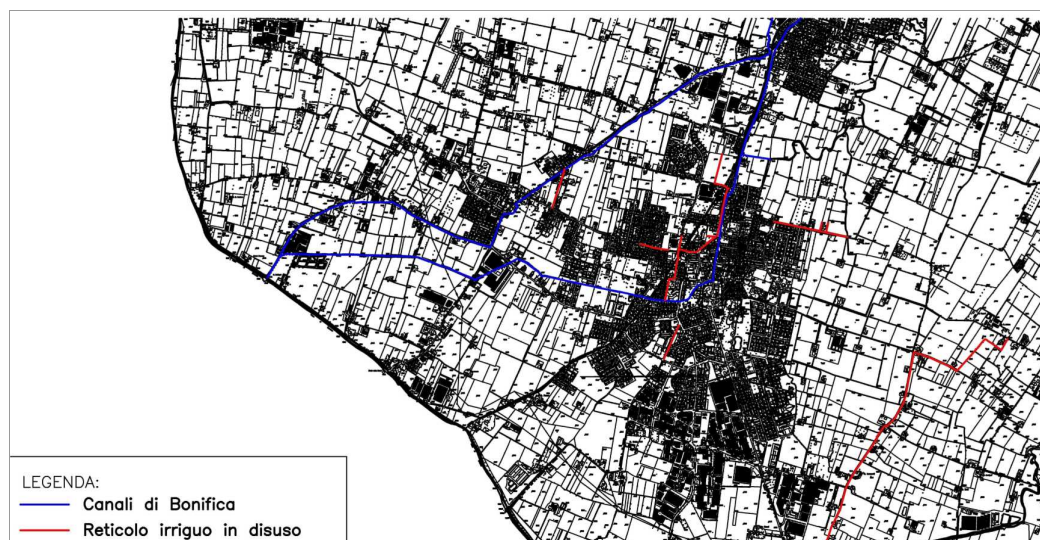


Figura 6 – Reti irrigue in disuso rilevate nel centro abitato di Formigine (MO).

Per tali infrastrutture si segnala la possibilità di valutarne il recupero per altri usi, quali il drenaggio urbano o la veicolazione di servizi a rete in ambiti già densamente urbanizzati, previa verifica dello stato conservativo dei tracciati e delle eventuali interferenze presenti.

Gestione unificata dei consumi energetici dell'unione della bassa Romagna

Marco Mondini (*), Alberto Fiore (*), Alessandro Seravalli (**)

(*) Unione Bassa Romagna, Piazza Martiri Libertà 1, Lugo (RA), Tel. 054538473, info@unione.labassaromagna.it

(**) SIS.TER SRL, Via Mentana 10, Imola (BO), Tel. 0542364030, a.seravalli@sis-ter.it

Riassunto

Gli Enti Pubblici, quali attori e gestori della città sono tra i primi soggetti chiamati a lavorare per un corretta gestione dell'energia. L'Unione dei Comuni della Bassa Romagna, costituita da Alfonsine, Bagnacavallo, Bagnara di Romagna, Conselice, Cotignola, Fusignano, Lugo, Massa Lombarda e Sant'Agata sul Santerno, in partnership con Sis.Ter di Imola, ha avviato un sistema per il monitoraggio e la gestione dei consumi energetici del proprio patrimonio localizzato sul territorio dei 9 Comuni.

Abstract

Public Administrations, as actors and managers of the cities, are the first players called to work for a proper energy management. The Union of Municipalities of Bassa Romagna: Alfonsine, Bagnacavallo, Bagnara di Romagna, Conselice, Cotignola, Fusignano, Lugo, Massa Lombarda and Sant'Agata sul Santerno, in partnership with Sis.Ter from Imola, has launched a system for monitoring and managing energy consumption of its assets located within the 9 municipalities.

1. Inquadramento

Sostenibilità e Risparmio Energetico sono divenuti negli ultimi anni confini all'interno dei quali inquadrare ogni intervento territoriale. Una corretta gestione energetica volta ad un uso responsabile dell'energia inizia ad essere, almeno nelle intenzioni, di uso comune. In questo campo gli obiettivi posti hanno superato anche i tradizionali confini nazionali, divenendo strategie condivise e partecipate da tutti i paesi del mondo. Sono nate azioni, normative e indicazioni basate sulle diverse scale di programmazione, dal protocollo di Kyoto alle norme da esso derivate come la direttiva 20-20-20, declinata per le realtà locali nel Patto dei Sindaci fino ai piani nazionali, regionali e provinciali, a loro volta caratterizzati da strumenti e azioni proprie per uno specifico territorio.

Il buon uso delle risorse costituisce un elemento improcrastinabile nel tempo. L'Unione della Bassa Romagna nasce da una intuizione iniziale che ha portato dalla gestione associata di servizi ad una vera governance in formato unitaria del territorio di 9 municipalità.

La crisi strutturale che ha investito il pianeta e la prospettiva realistica di anni di completo rinnovamento della macchina pubblica, hanno fatto decidere di avviare tutte quelle attività, processi e metodologie orientate al perseguimento dell'efficienza e della sostenibilità.

Tra queste oggi il tema del consumo energetico risulta strategico e sempre più da monitorare tanto da costituire un fattore importante nella stessa pianificazione economica e territoriale.

La stessa figura dell'Energy Manager, introdotta per enti pubblici caratterizzati da un consumo superiore alle 1.000 tep/anno (tonnellate equivalenti di petrolio/anno), evidenzia questo fattore. Temi quali l'efficientamento energetico di immobili piuttosto che di illuminazione pubblica sono oggetto sempre più frequente di bandi.

2. Territorio

Situata nel cuore della provincia di Ravenna, la Bassa Romagna non ha un confine geografico riconosciuto dalla cartografia nazionale, bensì si individua nel perimetro dei Comuni che aderiscono all'Unione. Il territorio della Bassa Romagna è situato nel cuore della Provincia di Ravenna, al centro di importanti vie di comunicazione. Per la sua collocazione logistica e per la dotazione infrastrutturale che lo caratterizza, è la naturale cerniera tra l'area ravennate, imolese e ferrarese, tra il porto di Ravenna, l'interporto di Bologna e la direttrice dell'E55; una *"terra di mezzo"* tra la costa adriatica e l'Appennino, una realtà avanzata per indici di sviluppo, livelli occupazionali, sostenibilità sociale e ambientale, benessere diffuso e qualità della vita. I punti di forza del distretto della Bassa Romagna sono costituiti dall'importanza e dalla diversificazione dell'industria manifatturiera; dalle potenzialità della filiera agroalimentare; dalla competitività del sistema logistico dovuta alla sua posizione baricentrica rispetto alle grandi arterie di comunicazione; dalla particolare vocazione commerciale incardinata sui centri storici e sui mercati; dall'equilibrio architettonico e dall'assenza di fenomeni di congestionamento urbano; dalla presenza di risorse paesaggistiche e naturali; da un'importante tradizione storica ed artistica; da una spiccata vitalità culturale; dalla qualità delle produzioni tipiche; da una consistente dotazione di servizi educativi, sociali e sanitari. Il territorio della Bassa Romagna è caratterizzato da una tradizione ormai lunga e consolidata di cooperazione e di lavoro associato, che ha portato alla costituzione dal 1° gennaio 2000 dell'Associazione Intercomunale della Bassa Romagna; oggi la Bassa Romagna è una realtà precisa, un sistema territoriale con una propria identità e un ruolo ormai riconosciuto nel contesto regionale e nazionale. Per assicurare una governance adeguata a questo sistema, i Comuni di Alfonsine, Bagnacavallo, Bagnara di Romagna, Conselice, Cotignola, Fusignano, Lugo, Massa Lombarda e Sant'Agata sul Santerno hanno istituito dal 1° gennaio 2008 l'**Unione dei comuni della Bassa Romagna**. Con una popolazione residente complessiva di 100.000 abitanti e un'estensione di 480 Km², si tratta dell'Unione di comuni più grande in Emilia Romagna e tra le maggiori dell'intero Paese, capace quindi di produrre sinergie di particolare rilevanza e di programmare servizi di qualità a beneficio dei cittadini e delle imprese.

I Numeri della Bassa Romagna		
COMUNI	POPOLAZIONE al 31/12/2010	ESTENSIONE KMQ
ALFONSINE	12.411	106,74
BAGNACAVALLLO	16.665	79,52
BAGNARA di ROMAGNA	2.330	10,02
CONSELICE	10.028	60,27
COTIGNOLA	7.414	34,96
FUSIGNANO	8.444	24,6
LUGO	32.777	116,93
MASSA LOMBARDA	10.700	37,02
Sant'AGATA sul SANTERNO	2.849	9,49
Totale	103.618	479,55



3. GIS ed Energia: problemi e opportunità

Generalmente utilizzato nell'ambito della pianificazione territoriale e nelle analisi quantitative e qualitative dei fenomeni socio-economico territoriali, lo "strumento" GIS viene in questa sede analizzato quale metodo di analisi e di simulazione in contesti strettamente collegati ma decisamente verticali: quello energetico.

Il primo motivo per cui le energie rinnovabili sono oggi cercate, sviluppate, finanziate è la sostenibilità dell'habitat umano.

Esiste una totale complicità fra lo sviluppo del tema energia e del tema della città e il GIS costituisce uno strumento per leggere, analizzare questi fenomeni supportandone le scelte pianificatorie. La pianificazione energetica costituisce allora un criterio di modifica dei luoghi e viceversa. Questa tesi è avvalorata dal fatto che la morfologia e la tecnologia delle città si sia gradualmente uniformata negli ultimi 100 anni con la perdita della tradizione e del genius-loci (prima ancora di una globalizzazione economica si è assistito ad una globalizzazione architettonica delle città).

La domanda di energia è aumentata negli ultimi decenni e questo ha portato ad una maggiore produzione di anidride carbonica e ad un aumento della temperatura.

Da metà degli anni '70 si incomincia a parlare di *Città rinnovabile* e di *Urbanizzazione Rinnovabile* dove l'arte della decrescita (*envelopment*) costituisce uno dei principi base per favorire una maggiore sicurezza e autonomia della città, dei paesi ed in generale delle aree antropizzate del mondo. Autonomia energetica quale sostenibilità e autonomia da logiche di potere del vivere e crescere della civiltà urbana. questa frase è contorta e poco chiara

Relazioni fra consumi energetici e struttura spaziale sono già elaborati da Owen negli anni '80 e negli anni '90 esperienze di applicazioni di GIS (Sistemi Informativi Geografici) vengono impiegate in California per il controllo del consumo energetico attraverso la gestione delle variabili d'uso del territorio con il *Planning for Community Energy Economic and Environmental Sustainability* che permetteva una progettazione territoriale utilizzando la variabile energetica per valutare l'efficienza d'uso del territorio, la progettazione e la gestione di infrastrutture e servizi.

Uno studio dell'ENEA evidenzia come la densità urbana sia inversamente proporzionale al consumo energetico derivante dai trasporti: maggiore densità minori consumi. La città compatta offre ai residenti, secondo questa tesi, un migliore accesso ai trasporti di massa che risultano più efficienti da un punto di vista energetico a differenza delle aree suburbane caratterizzate dal fenomeno dello sprawl (nelle metropoli hanno raggiunto anche estensioni di 50 km dal centro città). Emerge tuttavia che l'approccio monocriteriale, seppure lineare, constati di limitazioni importanti: se la densità aiuta a limitare i consumi energetici sotto l'aspetto distributivo nei trasporti, ne comporta altri per fronteggiare disagi sociali e ambientali.

Occorre allora affrontare l'argomento con un approccio di sostenibilità secondo modalità e indicatori che aiutino a guardare la città nella sua complessità e che aiutino ad intraprendere la riorganizzazione della stessa recuperando la città come luogo, con le sue soglie e i suoi confini, le sue differenze e le sue relazioni con la campagna circostante e in generale con l'ecosistema nel suo complesso.

Il tema energia e fonti energetiche è complesso, il fabbisogno risulta spesso molto alto in conseguenza ad usi errati, ridondanti dell'energia o a costruzioni e manufatti dispersivi ed energivori. I GIS offrono diverse opportunità in merito: in quanto sistemi "multi-criteria", a "pesi variabili", e "interdisciplinari", possono essere estremamente validi quali DSS (*Decision Support System*) anche in questo ambito applicativo.

La classificazione e quantificazione delle tipologie edilizie presenti, delle tipologie di copertura, delle superfici esistenti (pensiamo alle barriere acustiche che possono essere sfruttate anche come barriere fotovoltaiche, o gli edifici industriali, ecc.), la modellazione dell'edificato e della morfologia del terreno, l'individuazione di vincoli, la geocodifica dei consumi, ecc. sono tutte informazioni di tipo geografico utili e fondamentali per qualsiasi azione significativa di

promozione/produzione di energia rinnovabile che utilizzi il fotovoltaico senza utilizzare/consumare terreni agricoli.

Attraverso riprese satellitari multispettrali l'analisi può tenere in considerazione elementi importanti quali l'uso del suolo che determina l'irraggiamento diffuso dal terreno circostante, la qualità spaziale, le ombreggiature, la superficie coperta utile alla determinazione delle unità installabili, ecc. Questo tipo di analisi costituisce così un elemento conoscitivo importante del territorio divenendo propedeutica e complementare a qualsiasi intervento privato oggi incentivato attraverso contributi. Lo stesso WSSD -*World Summit on Sustainable Development* –, definisce il GIS come importante strumento per la gestione delle risorse territoriali e per la formazione geografica nei paesi in via di sviluppo. Ecco che allora l'analisi di un territorio nella sua complessità oggi non può prescindere dall'adozione delle metodologie e tecniche offerte dalla GIS Analysis e l'adozione di un sistema di gestione energetica del patrimonio (attiva e passiva) intende perseguire questa direzione.

4. Un sistema di gestione dei consumi per l'Unione

L'Unione dei Comuni della Bassa Romagna, costituita da Alfonsine, Bagnacavallo, Bagnara di Romagna, Conselice, Cotignola, Fusignano, Lugo, Massa Lombarda e Sant'Agata sul Santerno, in partnership con Sis.Ter di Imola, ha avviato un sistema per il monitoraggio e la gestione dei consumi energetici del proprio patrimonio localizzato sul territorio dei 9 Comuni e integrato nell'ambito della Intranet e della Extranet in fase di avvio.

Uno specifico cruscotto grafico e geografico permette di costruire indicatori per monitorare le performance ed evidenziare i luoghi su cui emerge una priorità di intervento, ovvero definire criteri, obiettivi e politiche di risparmio energetico. Cartogrammi, istogrammi e gauges diventano così strumenti quotidiani e multidisciplinari per la gestione e programmazione degli interventi. In tal senso i metodi e le tecnologie GIS superano le logiche disciplinari, ponendosi come strumenti multicriteriali che possono mettere in relazione informazioni anche eterogenee fra loro.

Il sistema, sviluppato attraverso la partner di SIS.TER di Imola con tecnologia Open Source, utilizza PMapper come strumento di navigazione geografica e georeferenziazione del bene. Il WebGIS è appoggiato al database topografico nella codifica e visualizzazione dei fabbricati o aree interessate consentendo un'aggiornamento sistematico del sistema e l'allineamento della decodifica fra i diversi soggetti.

Il sistema si basa sulla possibilità di gestire le informazioni (flussi), georeferenziandole sul bene di riferimento. Ogni oggetto localizzabile sul territorio e soggetto ad una utenza potrà pertanto essere gestito singolarmente ma anche essere analizzato in maniera classificata per tipologia, gruppo o altra categoria di appartenenza. In questa maniera, attraverso appositi indicatori di misura e confrontabilità, è possibile visualizzare l'andamento dei consumi energetici elettrici nelle diverse scuole di un comune o fra i comuni ovvero a mq di superficie utile di scuola o per alunno presente. Allo stesso tempo il sistema, graficizzando dinamicamente l'informazione attraverso istogrammi piuttosto che cartogrammi o gauges in SVG (Scalable, Vector, Graphics) permette di monitorare e comparare i diversi indicatori di performance a consuntivo e di previsioni attraverso una modalità dinamica quale quella di un cruscotto multiutente. L'analisi può comprendere categorie spaziali (comuni, territorio, selezione) ovvero temporali (un mese, ultimi 36 mesi, ecc.) fornendo anche stime di costo in funzione dei parametri immessi, ma anche trend previsionale stimato per i mesi avvenire. Il sistema multiutente e multi ente è anche configurabile e usabile in modalità *mobile*.

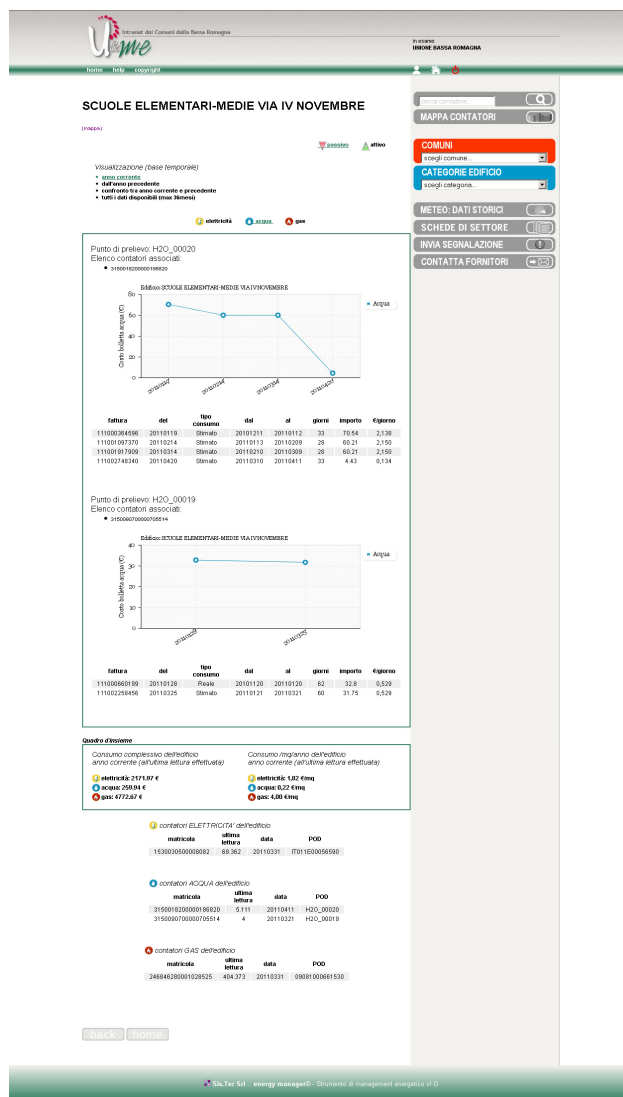


Figura 1 – Interfaccia relativa al monitoraggio del consumo e conseguente rappresentazione.

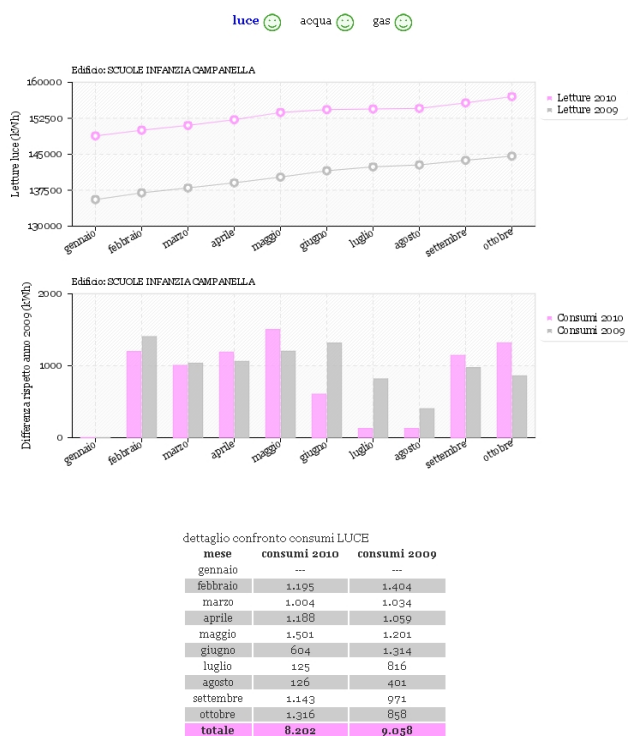


Figura 2 – Elaborazione di comparazione fra medesimi periodi e annualità differenti.

5. Stato dell'arte e sviluppi previsti

Attualmente il sistema è in fase di avvio e installato presso la server farm dell'Unione e risulta integrato nell'ambito della Intranet e della Extranet esistente.

Il servizio viene erogato ai Comuni membri i quali, attraverso la consulenza esterna o direttamente, dovranno in primo luogo regolarizzare le posizioni dubbie o errate relative alle codifiche dei contatori indicati dal gestore, verificando altresì la congruenza del codice con la posizione di appartenenza (scuola, municipio, asilo, ecc.). Questa attività, una volta concluse le operazioni di bonifica, consentirà di visualizzare dinamicamente i dati dai flussi forniti dal gestore aprendo la seconda fase del progetto, ovvero quella di ricaduta amministrativa e contabile dei centri di costo e competenza delle varie utenze. I flussi sono gestiti attraverso il sistema sviluppato da SIS.TER di Imola che comprende gestori quali acqua, luce, gas, telefonia, igiene urbana e che potenzialmente può interessare qualsiasi utenza.

Riferimenti Bibliografici

A. Seravalli (2011), *GIS Teorie e Applicazioni*, Imola, 2° edizione

Portale dell'Unione dei Comuni della Bassa Romagna, www.labassaromagna.it

A. Seravalli, S. Torelli (2011), *Energia e Città: metodi e tecnologie GIS per il piano energetico di un territorio*, Paesaggio Urbano 1/11, Rimini

Moderne tecniche di rilievo aereo-fotogrammetrico di oggetti a sviluppo verticale per la produzione di DSM: il caso di Campione del Garda (BS)

Martino Montagna (*) Paolo Rigon (*) Luca Ercolin (***)
Daniele Sarazzi (**) Francesca Julitta (**)

(*) ViReal, Arquà Polesine (RO)
(**) Zenit s.r.l., Busto Arsizio (VA)
(***) Zenith Ingegneria, Ferrara

Riassunto

La metodologia di rilievo sperimentata dimostra che le procedure tradizionali di acquisizione ed elaborazione dati dell'aereo-fotogrammetria nadirale grazie alla peculiare capacità della piattaforma utilizzata di orientare frontalmente la camera metrica, possono essere applicate con successo per la modellizzazione di oggetti a sviluppo verticale anche di grandi dimensioni. La metodica utilizzata è nata dall'esigenza di ottenere risultati ugualmente precisi e comparabili a quelli che si ottengono con laser scanner, superando il limite delle occlusioni derivanti dalla sfavorevole geometria di acquisizione, che appunto il laser scanner presenta in questo genere di rilievo.

Infatti, a seconda delle caratteristiche della parete e dell'area ad essa antistante, e quindi degli angoli di presa, il rilievo da stazione laser terrestre può rivelarsi inefficace o incompleto, oltre che certamente più oneroso. Il rilievo da micro UAS permette una misurazione precisa delle superfici e dei volumi della parete e la restituzione di un modello 3D in cui ricostruire gli ammassi rocciosi. Di questi, in base alla dimensione e alla posizione, sulla base del confronto di più rilievi nel tempo si potrà così valutare la suscettibilità al movimento e le relative criticità.

La possibilità, quindi di automatizzare il rilievo comporta l'opportunità di effettuare rapidamente e a costi ridotti indagini multi-temporali. Il caso di studio su cui verte il presente lavoro riguarda il rilievo di una parete rocciosa sita alle spalle di campione del Garda (Brescia).

Abstract

The methodology of the survey shows that the tested conventional procedures of acquisition and processing of the aero-photogrammetry nadir data due to the peculiar capabilities of the platform used to orient the metric camera straight ahead, can be successfully applied to the modeling of objects in vertical development also of considerable surface.

The method used is also born from the need to obtain accurate and comparable results to those obtained with laser scanner data, exceeding the limit of occlusions, caused by the unfavorable geometry of acquisition, the laser scanner has for this kind of survey. In fact, according to the characteristics of the wall, the area beneath it, and then the angles of the camera, survey from terrestrial laser station can be ineffective or incomplete, well certainly more expensive.

The survey from micro UAVs allows an accurate measurement of surfaces and volumes of the wall and the return of a 3D model in which to reconstruct the rock masses. Here, depending on the size and position, based on the comparison of several measurements over time can be evaluate its susceptibility to motion and its criticality.

The possibility to automate the survey involves the opportunity to do quickly and cost-effective multi-temporal surveys. The case study on which the subject of this work involves the survey of a rock wall located behind Campione Del Garda (Brescia) village.

1 Area di studio

Questo studio si inserisce nell'ambito di un progetto di riqualificazione ambientale della località di Campione del Garda (BS) e delle aree circostanti all'interno di uno dei più importanti interventi di recupero ecosostenibile d'Europa.



Figura 1 – Inquadramento area di studio.

Campione del Garda è un borgo dalla forte vocazione industriale e commerciale. Descritto già dalle cronache del XVI secolo come sede di cartiere, mulini e fucine, nell'ultimo secolo è stato sede di un importante industria della filatura del cotone. Nel 1981 è avvenuta la chiusura dello stabilimento e nel 2002 Coopsette diviene proprietaria dell'area, da qui inizia l'operazione di riqualificazione ambientale a destinazione turistica.

Alle spalle del borgo un'alta parete rocciosa a strapiombo è divisa in due dal solco del torrente Tignalga che li scende verso il lago, separandola in parete nord e parete sud.

Il presente lavoro si è occupato appunto della parete sud a supporto della progettazione per gli interventi di messa in sicurezza della stessa.

2 Materiali e metodi

In questo lavoro si descrive un rilievo eseguito con tecniche aerofotogrammetriche da drone con prese verticali parallele alla parete e rilievo laser scanner 3D, al fine di ottenere un modello tridimensionale georeferenziato con la verticale geodetica.

La campagna di misura è stata articolata in 2 fasi di lavoro distinte:

- rilievo topografico *Laser Scanning* 3D che ha consentito l'unione georeferenziata di tutti i fotogrammi
- rilievo aerofotogrammetrico tramite uso di drone UAS (*Unmanned Aircraft System*) dotato di macchina fotografica ad asse orizzontale calibrata

2.1 Rilievo aerofotogrammetrico

L'apparecchiatura utilizzata per tale rilievo è una suite *Microdrones* MD4-200 della classe VTOL (*Vertical Take-off and Landing*), composta da un Drone UAS, base station e software proprietario che consente la programmazione e la realizzazione di voli pianificati sulla base di *way points* definiti su base cartografica. Rispetto a tutte le altre piattaforme di volo, aeree o satellitari, l'UAS presenta numerosi vantaggi sia tecnici che logistici, tra i più importanti: bassa quota operativa (che si traduce in un elevatissima risoluzione spaziale), tempestività nella messa in esercizio e ottenimento dei dati, ridotti costi di esercizio.

Per quanto riguarda l'elettronica di volo il drone è dotato di ricevitore gps, magnetometro ed accelerometri. L'integrazione di questi sottosistemi costituisce un *Inertial Navigation System* (INS) estremamente preciso che consente di eseguire automaticamente un piano di volo pre-programmato su base cartografica o, se richiesto, di mantenere precisamente la propria posizione. Il sistema di posizionamento GPS e i sensori di volo consentono inoltre di contrastare l'azione del vento in assenza di comandi da parte dell'operatore, migliorando così la stabilità dell'apparecchio e di conseguenza la qualità dei rilievi.

I punti di decollo, la rotta e la quota di volo, insieme a tutti i parametri di settaggio dei sensori, vengono pianificati a priori su base cartografica GIS attraverso software proprietario.

Il drone è pertanto in grado di eseguire rilievi aerei fotogrammetrici precisi e automatici, ripetibili nel tempo e pertanto adatti ad indagini multitemporali. Durante i rilievi attraverso la stazione di controllo a terra si ha un riscontro continuo ed in tempo reale dell'inquadratura degli apparati di ripresa e delle telemetrie di volo attraverso un *datalink* a 2.4 GHz.

2.1.1 Programmazione voli automatici

Presupposto fondamentale alle riprese mediante drone è la pianificazione del volo che richiede a sua volta un'approfondita analisi dell'area di studio.

La parete Sud sopra citata ha un ingombro massimo di 400 m di altezza per uno sviluppo planimetrico di 350 m.

Inoltre presenta uno scostamento di soli 11° rispetto alla verticale, per cui tra il piede della parete e la parte sommitale c'è uno scarto di circa 80 m sul piano orizzontale di cui si è dovuto tener conto nella pianificazione.

Tra il punto di decollo del drone e la parete c'è una distanza a terra di 80 m, mentre in corrispondenza della quota massima raggiunta dal drone lungo l'asse verticale, la distanza raggiunge un'estensione di 160 m.

Per poter pianificare il volo è stato necessario uniformare tutti i diversi dati a disposizione perché fossero utilizzabili in ambiente GIS.

L'immagine sottostante illustra l'area di intervento su base cartografica CTR: in giallo è tracciata la linea di approssimazione del piede della parete, mentre in rosso la traccia del piano sul quale eseguire le linee di volo verticali.

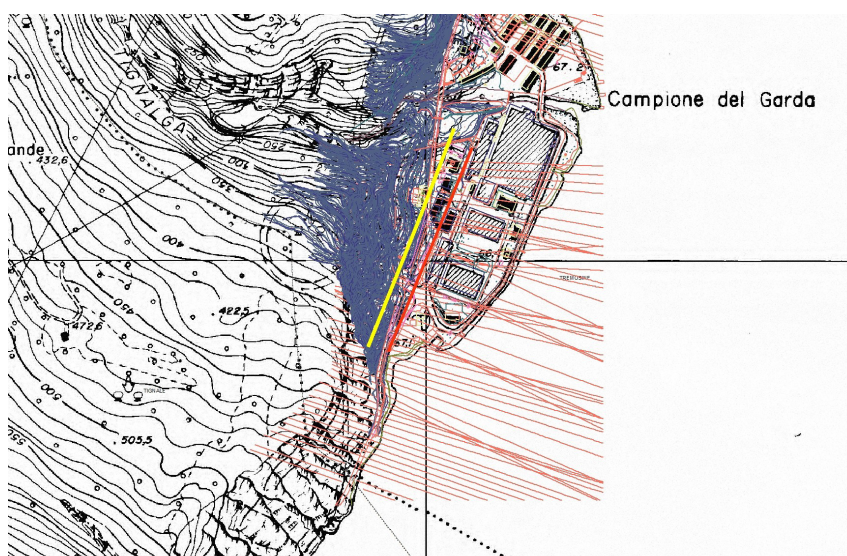


Figura 2 – Rappresentazione dell'area del rilievo su base cartografica CTR.

In particolare, è stata utilizzata come fotocamera per le riprese una Pentax con obiettivo da 17 mm, montata in modo da effettuare riprese orizzontali. Per garantire la copertura di tutta l'area di interesse sono necessarie 5 strisciate verticali, aventi circa il 15% di sovrapposizione l'una con l'altra e con azimuth del drone pari a 291.5° dal N.

I voli si intendono continui, in ascensione e discesa con 5 secondi di permanenza alla massima quota, con lo scatto in modalità temporizzata a raccogliere una immagine ogni 12 m durante il percorso in salita e una immagine ogni 8 m durante il percorso in discesa (equivalente a una sovrapposizione dell'80%). Date le particolari condizioni ambientali del sito e le elevate quote di volo è stato ideato questo metodo di acquisizione a tempi sfalsati tra andata e ritorno per minimizzare il rischio di mancare l'*overlap* tra i fotogrammi a causa delle possibili folate di vento in quota. L'errata acquisizione di un fotogramma per via di improvvisa raffica di vento in un senso di percorrenza viene compensata dagli scatti effettuati in senso opposto. In questo modo è garantita la mosaicatura dei fotogrammi di una strisciata con sovrapposizione prestabilita.

Una prima analisi delle quote ha portato a queste conclusioni circa le quote massime da raggiungere per ciascuna ascensione:

- colonna 1: 370m
- colonna 2: 350m
- colonna 3: 320m
- colonna 4: 270m
- colonna 5: 270m (riducibile fino a 220m)

I voli sono stati pianificati in ambiente GIS e successivamente trasferiti in *mdCockpit*, ossia il *software* di interfaccia del modello md4-200.

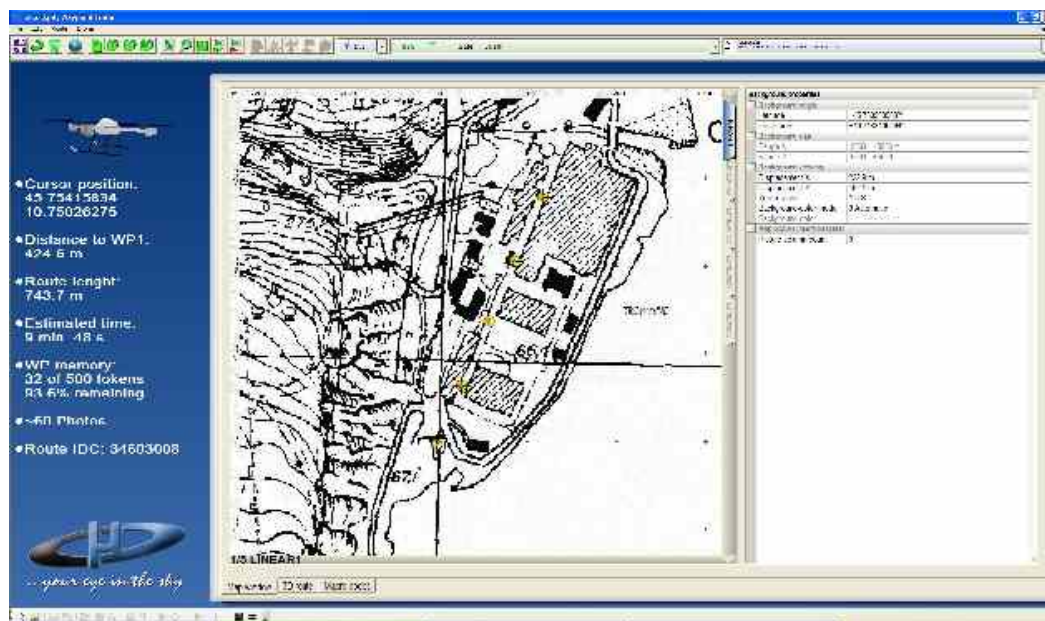


Figura 3 – Interfaccia del software *mdCockpit* per la pianificazione del volo e posizionamento delle stazioni di decollo.

2.1.2 Rilievo aereo fotogrammetrico in campo

In data 06/08/2011 è stato eseguito il volo aereo fotogrammetrico, sfruttando la finestra temporale 12.00 - 13.00 am che presenta i valori minimi di vento nel sito considerato.



Figura 4 – md4-200 in posizione di decollo.

2.2 Rilievo Laser Scanning

Il rilievo *laser scanner*, eseguito con la *scan station* Leica C10 in data 03/08/2011, ha avuto una duplice funzionalità: controllare eventuali sbandamenti della parete ottenuta dall'elaborazione fotogrammetrica e definire il sistema di riferimento cartesiano al quale riferire le singole strisciate ottenute per fotogrammetria.

Infatti sono state eseguite 5 stazioni di misura acquisendo con dettaglio tutti gli edifici o comunque gli elementi notevoli costruiti presenti alla base della parete e presenti anche nei fotogrammi acquisiti dal drone così da permettere sulla base dei punti omologhi di coordinate note, 5 rototraslazioni con variazione di scala indipendenti per le cinque strisciate verticali modellate tridimensionalmente per punti.

3 Risultati preliminari e discussione

E' necessario premettere che la fase di elaborazione fotogrammetrica delle immagini acquisite è tuttora in corso, i risultati illustrati attraverso le seguenti immagini derivano da elaborazioni preliminari.

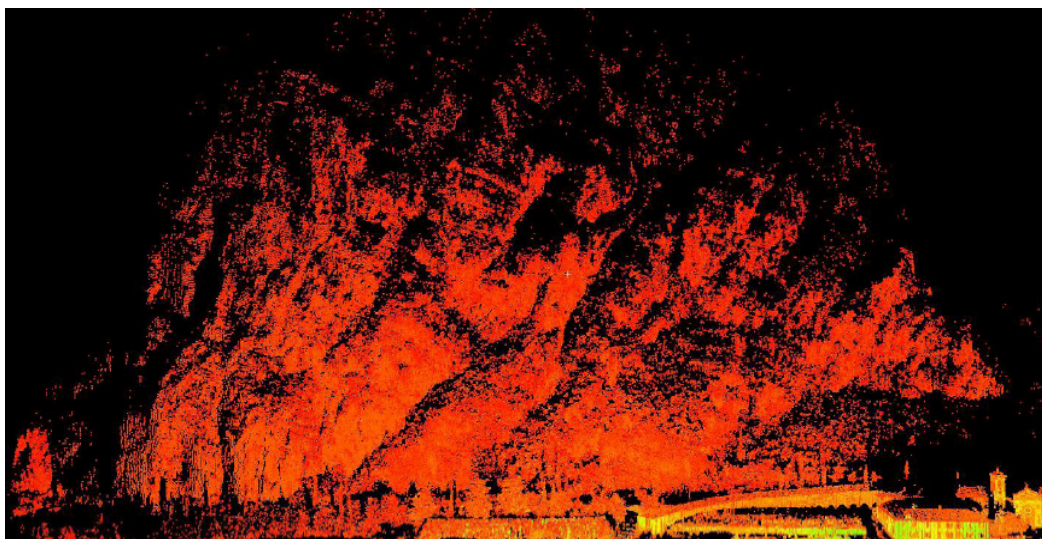


Figura 5 – Scansione complessiva della parete mediante laser scanner.

Una semplice analisi visiva dell'immagine sopra riportata, che mostra la nuvola di punti complessiva ottenuta dalla scansione mediante *Laser Scanner*, permette di osservare come la densità di punti acquisiti non sia uniforme in tutta la figura. La parte bassa dell'immagine presenta una maggiore densità di punti che ben descrive la morfologia del versante, mentre spostandosi nelle parti alte i punti si diradano, prevalgono le zone nere, ossia quelle prive di punti, pertanto il modello è insufficiente a descrivere l'andamento della superficie.

Per questo motivo si è ritenuto necessario integrare le due tecniche di rilievo (*Laser scanner* e fotogrammetria aerea di prossimità) per compensare con le riprese aeree le lacune della scansione. Diversi studi mostrano come l'integrazione di più tecniche di rilievo nel caso di ricostruzioni 3D di strutture architettoniche e siti archeologici portano ad ottenere risultati di elevato dettaglio, sono i casi, ad esempio, della canonica di San Pietro in Villore in provincia di Siena, Italia (Campana et al 2008) e dei siti di Cerveteri in provincia di Roma, Italia (Remondino et al 2009) e di Tucume in Perù (Sauerbier et al 2004).

Le riprese mediante drone hanno permesso di superare il forte limite delle occlusioni derivanti dalla sfavorevole geometria di acquisizione della stazione *Laser*.

L'immagine sottostante mostra il risultato di una prima elaborazione dei fotogrammi ripresi con il drone. I dati sono stati, infatti, soggetti ad un trattamento preliminare mediante il *software Photomodeler Scanner*, che ha permesso di orientare tutti i fotogrammi di tutte le strisciate sulla base del riconoscimento di punti naturali omologhi al fine di collegare inizialmente in un mondo locale tutti i fotogrammi alla rispettiva strisciata.

Sempre in questo ambiente fotogrammetrico è stato possibile estrarre nelle varie zone di sovrapposizione delle coppie di foto una griglia di punti regolari dotati anche della terza dimensione, fino all'ottenimento di una maglia di 25x25 cm di punti di tutte le strisciate realizzate.

L'*output* dell'elaborazione è stato una nuvola di 12 milioni di punti rappresentativa della morfologia di dettaglio della parete oggetto di rilievo.

E' stato scelto il piano che meglio approssimava la forma non regolare dell'unghia di base della parete, così da poter avere un'unica giacitura della *mesh* realizzata in ambiente CAD e conseguentemente l'estrazione di una sezione della parete ogni 10 m.

Nella figura sottostante è riportata la nuvola di punti relativa alla porzione di parete rilevata con associata l'informazione RGB.

Si può osservare come questa rappresentazione descriva con maggior dettaglio ed in modo più uniforme la morfologia della parete rocciosa, rispetto alla scansione. Tutta la superficie è omogeneamente coperta dai punti, fatta eccezione solo per alcune porzioni marginali, e sono, inoltre, visibili le fessure e le sporgenze tra gli ammassi rocciosi.

Allo stato attuale del lavoro si può affermare che le riprese realizzate mediante UAS hanno prodotto immagini di buona qualità in grado di integrare le acquisizioni Laser per future modellizzazioni 3D.



Figura 6 – Nuvola di punti risultato di elaborazione fotogrammetrica preliminare.

Riferimenti Bibliografici

Campana S., Remondino F., Rizzi A., Sordini M. (2008) "Ricostruzione virtuale e visualizzazione di un monumento romanico: la canonica di San Pietro in Villore" <http://www.fondazionepava.org>

Eisenbeiss H., Li Zhang L. (2006) "Comparison of DSMs generated from mini UAV imagery and terrestrial laser scanner in a cultural heritage application" ISPRS Commission V Symposium 'Image Engineering and Vision Metrology' IAPRS Volume XXXVI, Part 5, Dresden 25-27 September 2006

Eisenbeiss H. et al (2005) "Photogrammetric documentation of an archaeological site (Peru) using an autonomous model helicopter" CIPA 2005 XX International Symposium, 26 September – 01 October, 2005, Torino, Italy

Eisenbeiss, H., (2008) "UAV photogrammetry in plant sciences and geology" 6th ARIDA Workshop on "Innovations in 3D Measurement, Modeling and Visualization, Povo (Trento), Italy.

Haarbrink, R.B., Koers, E., 2006. Helicopter UAV for Photogrammetry and Rapid Response. Int. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 36(1/W44), Antwerp, Belgium (on CD-ROM).

Lambers K. et al (2007) "Combining photogrammetry and laser scanning for the recording and modelling of the Late Intermediate Period site of Pinchango Alto, Palpa, Peru" Journal of Archaeological Science xx 1-11

Remondino F., Rizzi A. (2009) "Reality-based 3D documentation of world heritage sites: methodologies, problems and examples" XII CIPA Symposium, October 11-15, 2009, Kyoto, Japan

Sauerbier M., Kunz M., Fluehler M., Remondino F. (2004) "Photogrammetric reconstruction of adobe architecture at Tucume, Peru" ETH, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie (2004). doi:10.3929/ethz-a-005018568.

Scaioni M. et al (2009) "RC-Heli and structure & motion techniques for the 3-D reconstruction of a Milan Dome spire" Int. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 38(5W1), Trento, Italy (on CDROM).

Simulazione della produttività olivicola in Toscana attraverso l'integrazione di telerilevamento e dati a terra

Marco Moriondo (*), Marta Chiesi (*), Lorenzo Brilli (**),
Marco Bindi (**), Fabio Maselli (*)

(*) IBIMET-CNR, Via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino
Tel. 055 5226024. Fax 055 44830, e-mail m.moriondo@ibimet.cnr.it
(**) DIPSA, Università di Firenze, P.le delle Cascine 18, 50144 Firenze

Riassunto

Il seguente articolo presenta lo sviluppo e la sperimentazione di un metodologia multi-step che attraverso l'integrazione di dati telerilevati e ausiliari permette di stimare la produttività degli olivi (*Olea europaea* L.) presenti sul territorio della regione Toscana. Il processo combina i valori di NDVI dell'olivo con dati meteorologici standard all'interno di un modello parametrico modificato (C-Fix) che consente la stima della produttività primaria lorda giornaliera (GPP) per un periodo di dieci anni (2000-2009). Le stime di GPP unite a stime della respirazione ottenute tramite il modello biogeochimico BIOME-BGC permettono di simulare la produttività primaria netta (NPP), che viene poi accumulata su tutta la stagione vegetativa e trasformata poi in resa olivicola attraverso opportuni coefficienti. L'accuratezza delle stime così ottenute viene poi valutata attraverso il confronto con le statistiche provinciali. La metodologia riesce a riprodurre accuratamente la variazione inter-annuale della resa olivicola su tutta la regione.

Abstract

The current paper presents the development and testing of a multi-step approach which integrates remotely sensed and ancillary data to estimate olive (*Olea europaea* L.) yield in Tuscany (Central Italy). The process combines olive NDVI values with meteorological data in a standard parametric model modified (C-Fix) that allows the estimation of daily gross primary productivity (GPP) for a period of ten years (2000-2009). Estimates of GPP together joint to estimates of respiration obtained through the biogeochemical model BIOME-BGC, can simulate net primary productivity (NPP), which is then cumulated over the whole growing season and then converted onto olive yield by using proper conversion factors. The accuracy of these estimates is finally assessed by comparison with the provincial statistics. The methodology can accurately reproduce inter-year olive yield variation over the entire region.

Introduzione

Nel corso dei secoli l'olivo (*Olea europaea* L.) ha svolto un ruolo importante nello sviluppo rurale come una delle maggiori fonti di reddito e di occupazione nelle aree del Mediterraneo (Graaff e Eppink, 1999). La sua presenza in tale area, oltre ad assumere una grandissima importanza ecologica e paesaggistica, riveste tutt'oggi una rilevanza economica fondamentale, tanto da renderne indispensabile sia il monitoraggio che la previsione del rendimento (Villalobos et al., 2006). Metodi alternativi rispetto a quelli convenzionali, come ad esempio modelli agrometeorologici della crescita, sarebbero per tali scopi di estrema utilità. A nostra conoscenza solo due modelli sono stati ad oggi presentati in letteratura (Abdel-Razic, 1989; Villalobos et al., 2006), i quali tuttavia trovano però dei limiti nella parametrizzazione e nella limitata spazializzazione. Tecniche di telerilevamento integrate con risorse ausiliarie potrebbero

teoricamente superare tali limitazioni grazie alla capacità di fornire informazioni sui processi fotosintetici a diverse scale spaziali e temporali (Kumar e Monteith, 1981; Prince, 1990; Veroustraete et al, 2002). Utilizzando i dati raccolti in Toscana nel corso di un periodo di dieci anni (2000-2009) ci siamo posti l'obiettivo di valutare, attraverso l'integrazione di dati telerilevati ed ausiliari, le variazioni inter-annuali a livello spaziale e temporale della resa olivicola su scala regionale. La metodologia adottata si basa su studi precedenti che hanno dimostrato il potenziale di due modelli, C-Fix e BIOME-BGC, per la stima della NPP di specie arboree a varie scale temporali e spaziali (vedere Fig. 1).

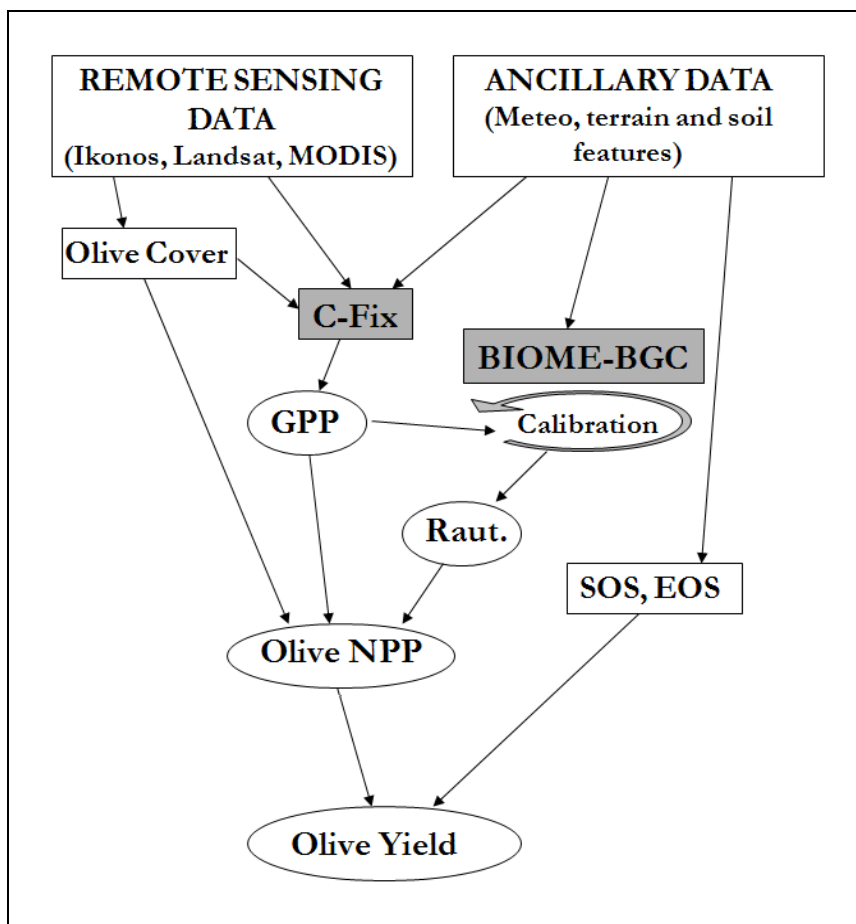


Figura 1 – Schema della metodologia utilizzata per l'integrazione di dati a terra e tele rilevati (vedere anche Maselli et al., 2011) (SOS ed EOS indicano rispettivamente l'inizio e la fine della stagione vegetativa).

Area di studio

La regione Toscana (9 °-12 ° longitudine est; 42 °-44 ° latitudine nord), amministrativamente divisa in dieci province (Fig. 2), si presenta estremamente eterogenea per caratteristiche morfologiche e di copertura del territorio. Il clima varia da mediterraneo a temperato caldo o freddo (Rapetti e Vittorini, 1995) seguendo gradienti latitudinali, altitudinali e di distanza dal mare.

Le aree agricole coprono circa un terzo della regione e sono collocate soprattutto in zone di pianura e collinare. Gli oliveti, distribuiti prevalentemente in collina, presentano per la maggior parte una estensione di piccole dimensioni (< 2 ha) e sono concentrati maggiormente nelle province di Firenze, Arezzo e Grosseto.

Dati

Le temperature minime e massime e le precipitazioni giornaliere sono state raccolte per gli anni 2000-2009 dalla rete meteo regionale mentre la distribuzione geografica degli oliveti è stata derivata dal mappa d'Italia prodotta nell'ambito del progetto CORINE LAND COVER 2000 (Maricchiolo et al., 2004).

Le caratteristiche principali del terreno sono state acquisite dalla carta dei suoli prodotta dalla Regione Toscana (<http://sit.lamma.rete.toscana.it/websuoli/>).

La copertura vegetale dell'olivo è stata ottenuta dall'elaborazione di circa 300 immagini ad alta risoluzione spaziale a colori IKONOS scaricate da *Google Earth*. Queste immagini, che hanno una risoluzione spaziale nominale di 1 m, si riferiscono a periodi diversi negli anni 2001-2007.

È stata utilizzata una immagine Landsat ETM+ raccolta il 12 luglio 2002 per la stima della frazione di copertura negli oliveti. Questa immagine è completamente libera da disturbi atmosferici (nubi, nebbia, etc.) su tutta la regione.

Le immagini MODIS NDVI (Normalised Difference Vegetation Index) sono state invece scaricate dal sito della NASA (<http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome>) ed hanno una risoluzione spaziale di 250 m. Per l'intero periodo di studio (2000-2009), il *dataset* NDVI utilizzato è stato distribuito in sezioni che coprono diverse porzioni della superficie terrestre corrispondenti al centro Italia.

Per la validazione finale delle simulazioni sono stati utilizzati dati di resa olivicola a livello provinciale per lo stesso periodo ricavati dall'archivio ISTAT (<http://www.istat.it>).

Metodi

La Figura 1 mostra i principali operazioni seguite per ottenere stime della resa olivicola per il territorio toscano. Il primo step del lavoro è consistito nello stimare il grado di copertura delle chiome degli oliveti per diversi punti distribuiti su tutto il territorio regionale: questo è stato effettuato utilizzando le immagini ad alta risoluzione spaziale IKONOS. Le stime così ottenute sono state poi estese a tutta la regione impiegando una procedura di regressione localizzata all'immagine Landsat ETM+ (Fig. 2).

La mappa della percentuale di copertura per gli oliveti toscani viene poi utilizzata per estrarre i valori di NDVI dell'olivo dalle immagini MODIS a 250 m. La combinazione di questi valori con dati meteorologici standard all'interno di un modello parametrico modificato (C-Fix) consente la stima della produttività primaria lorda giornaliera (GPP) per un periodo di dieci anni (2000-2009) (Maselli et al., 2009a).

Le stime di GPP sono poi unite a stime della respirazione ottenute tramite un modello biogeochimico (BIOME-BGC) per simulare la produttività primaria netta (NPP) (Chiesi et al., 2007; Maselli et al., 2009b). Questo modello infatti è capace di stimare i principali termini di ciclo di acqua, carbonio ed azoto all'interno di diversi ecosistemi terrestri utilizzando come dati di input dati meteorologici giornalieri, informazioni sulla stazione (es. profondità e tessitura del suolo) e caratteristiche ecofisiologiche della specie analizzata (Running and Hunt, 1993).

La NPP è successivamente stata accumulata per tutto il periodo relativo alle dieci stagioni di crescita identificate attraverso un semplice modello fenologico ed è stata trasformata nella resa olivicola adottando opportuni coefficienti di trasformazione (per maggiori dettagli vedere Maselli et al., 2011). L'accuratezza delle rese così ottenute viene poi valutata attraverso il confronto con le statistiche provinciali.

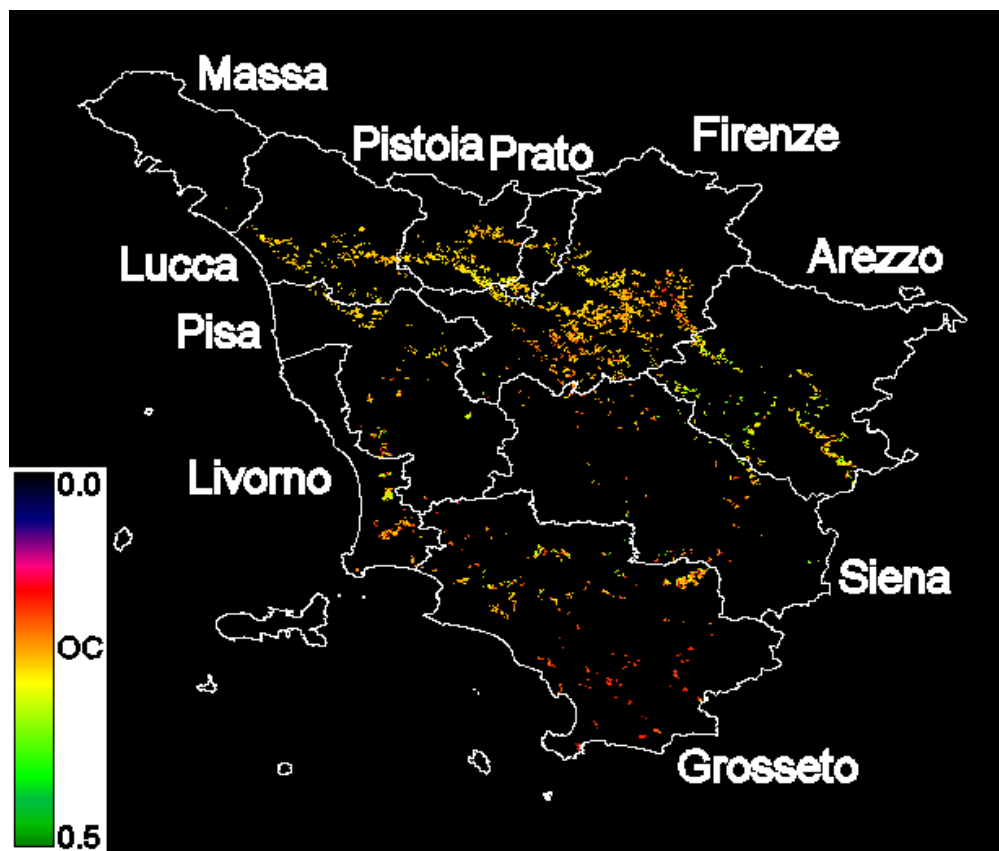


Figura 2 – Mappa del grado di copertura delle olivete nelle diverse province toscane ottenuta applicando la tecnica delle regressioni localizzate all'immagine Landsat ETM+.

Risultati

La variabilità spaziale della produttività olivicola inter-annuale è risultata chiaramente legata alle caratteristiche eco-climatiche della regione. In generale la GPP è in gran parte limitata dallo stress idrico congiuntamente ad una breve durata della stagione di crescita soprattutto nelle province più calde. Le respirazioni dell'olivo simulate da BIOME-BGC sono risultate fortemente influenzate dalle temperature giornaliere, dove a maggiore temperatura è corrisposta una maggiore respirazione e viceversa. Lo stesso vale per le variazioni temporali.

L'azione concomitante del modello C-Fix modificato e delle respirazioni di BIOME-BGC produce risultati variabili per le varie province, ma simula più correttamente le variazioni della produttività inter-annuale per le province con superfici olivicole più estese, come Firenze, Arezzo e Grosseto (Tab. 1). Di conseguenza, l'approccio integrato aumenta notevolmente l'accuratezza complessiva delle stime a livello regionale (Fig. 3).

Provincia	r	RMSE (q/ha)	MBE (q/ha)
Arezzo	0.868**	8.10	7.57
Firenze	0.737*	4.87	-1.49
Grosseto	0.645*	3.78	1.68
Livorno	0.635*	11.24	-10.38
Lucca	0.595	7.56	-2.74
Massa	0.048	16.50	14.88
Pisa	0.712*	4.20	-0.73
Pistoia	0.353	9.09	6.29
Prato	0.175	9.67	5.75
Siena	-0.210	11.27	10.03

Tabella 1 – Statistiche d'accuratezza per provincia delle rese in olive stimate ottenute integrando gli outputs di C-Fix e BIOME-BGC (vedere il testo per maggiori dettagli) (* = correlazione significativa, $P < 0.05$; ** = correlazione altamente significativa, $P < 0.01$).

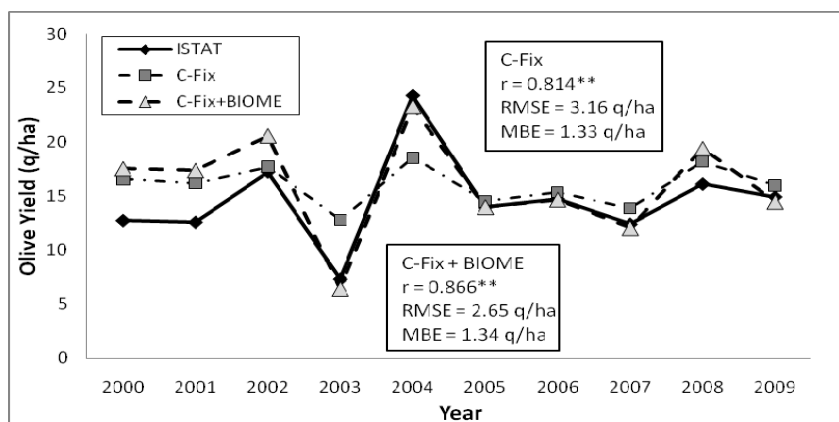


Figura 3 – Produttività olivicola misurata e stimata da C-Fix e C-Fix+BIOME-BGC per l'intera regione Toscana (** = correlazione altamente significativa, $P < 0.01$).

Discussione e conclusioni

I dati telerilevati forniscono una misura diretta delle condizioni vegetazionali, integrando gli effetti di tutti i principali fattori ambientali. Tramite una corretta combinazione di immagini telerilevate con dati a terra è dunque possibile valutare le caratteristiche produttive e strutturali di determinati ecosistemi agricoli come gli oliveti. L'utilizzo del metodo Monteith applicato all'interno del modello C-Fix modificato ha permesso infatti di simulare il comportamento fotosintetico degli oliveti e di riprodurre la variabilità inter-annuale della produttività olivicola. L'aggregazione dei risultati su scala regionale ha consentito di ottenere un buon accordo tra le rese simulate ed i dati ISTAT. Le stime della produttività ottenute direttamente da C-Fix hanno però evidenziato una ridotta variabilità inter-annuale rispetto ai dati ISTAT, probabilmente dovuta alla non considerazione dei processi respiratori. L'integrazione tra il modello biogeochimico BIOME-BGC, capace di simulare accuratamente i processi respirativi, ed il modello C-Fix, ha permesso di ridurre tale differenza, risultando molto più efficiente nel simulare la produttività olivicola inter-annuale identificata dai dati ISTAT.

Bibliografia

- Abdel-Razik, M. (1989), "A model of the productivity of olive trees under optimal water and nutrient supply in desert conditions", *Ecological Modelling*, 45: 179–204.
- Chiesi, M., Maselli, F., Moriondo, M., Fibbi, L., Bindi, M., Running, S.W. (2007), "Application of BIOME-BGC to simulate Mediterranean forest processes", *Ecological Modelling*, 206: 179-190.
- Graaff, de J., and Eppink, L.A.A.J. (1999), "Olive oil production and soil conservation in southern Spain, in relation to EU subsidy policies", *Land Use Policy*, 16: 259-267.
- Kumar, M., Monteith, J. L. (1981), "Remote sensing of crop growth". In: H. Smith (Ed) *Plants and the daylight spectrum*. Academic Press, San Diego, California. pp. 133-144.
- Maselli, F., Papale, D., Puletti, N., Chirici, G., Corona, P. (2009a), "Combining remote sensing and ancillary data to monitor the gross productivity of water-limited forest ecosystems", *Remote Sensing of Environment*, 113: 657-667.
- Maselli, F., Chiesi, M., Moriondo, M., Fibbi, L., Bindi, M., Running, S.W. (2009b), "Modelling the forest carbon budget of a Mediterranean region through the integration of ground and satellite data", *Ecological Modelling*, 220: 330-342.
- Maselli, F., Chiesi, M., Brilli, L., Moriondo, M. (2011), "Simulation of olive yield in Tuscany through the integration of remote sensing and ground data", *Remote Sensing of Environment*, in revisione.
- Prince, S.D. (1990), "High temporal frequency remote sensing of primary production using NOAA AVHRR". In *Applications of remote sensing in agriculture*. Steven, M.D., Clark J.A. (eds.)
- Rapetti, F., and Vittorini, S. (1995), "Carta climatica della Toscana", Pacini Editore, Pisa (Italy).
- Running S.W., Hunt E.R. (1993). "Generalization of a forest ecosystem process model for other biomes, BIOME-BGC, and an application for global-scale models." In: Ehleringer, J.R., and Field, C.B. (eds.), *Scaling Physiological Processes: Leaf to Globe*, Academic Press, San Diego, pp. 141-158.
- Veroustraete, F, Sabbe, H., and Eerens, H. (2002), "Estimation of carbon mass fluxes over Europe using the C-Fix model and Euroflux data", *Remote Sensing of Environment*, 83: 376-399.
- Villalobos F.J., Testi L., Hidalgo J., Pastor M., Orgaz F. (2006), "Modelling potential growth and yield of olive (*Olea europaea* L.) canopies", *European Journal of Agronomy*, 24: 296–303.

Atlante Biomasse e servizi ENEA a supporto delle filiere a bioenergia

Vincenzo Motola (*), Sergio Sasso

(*) ENEA C.R. Trisaia, S.S. 106 Ionica, km 419+500 75026 Rotondella (MT)
Tel. 0835-974136, Fax 0835-974292, e-mail, vincenzo.motola@enea.it

Riassunto

Nell'ambito dell'Accordo di Programma “Attività di Ricerca e Sviluppo di interesse generale per il sistema elettrico nazionale” con il Ministero dello Sviluppo Economico, l'ENEA ha realizzato un Atlante on-line per pubblicare le informazioni relative al potenziale energetico delle biomasse distribuite sul territorio nazionale.

Il portale cartografico è basato sulla tecnologia ERDAS APOLLO, scelta per condividere le cartografie pubblicate da server remoti (altri sistemi informativi) che adottano protocolli di scambio dati open standard, e consentendo l'utilizzo delle mappe anche all'interno di applicazioni GIS, leggendo i dati direttamente via internet.

Il portale mette a disposizione dell'ENEA un'intuitiva interfaccia di amministrazione per la pubblicazione delle banche dati cartografiche, offrendo così la possibilità di aggiornare continuamente l'archivio dei dati disponibili in maniera facile e veloce. Grazie alle tecnologie allo stato dell'arte offerte dalla suite APOLLO di ERDAS, l'Atlante delle Biomasse dell'ENEA rende possibile la condivisione delle informazioni utilizzando formati "open standard", che consentono di superare molte barriere all'information sharing e di accedere così ai dati senza grossi vincoli di carattere tecnico.

Abstract

Nell'ambito dell'Accordo di Programma “Attività di Ricerca e Sviluppo di interesse generale per il sistema elettrico nazionale” con il Ministero dello Sviluppo Economico, l'ENEA ha realizzato un Atlante on-line in order to publish the relative information to upgrade the energetic of the biomasses distributed on the national territory. The cartographic portal is based on technology ERDAS APOLLO, chosen in order to share the cartographies published from server remote (other informative systems) that they adopt protocols of exchange given open standard, and being concurred the use of the maps also all inside of applications GIS, reading the data directly via Internet. The portal puts on hand dell'ENEA a intuitiva interface of administration for the publication of the data banks cartographic, thus offering the possibility to dawn continuously the archives of the data available in easy and fast way. Thanks to the technologies to the state of the art offered from ERDAS suite APOLLO, the Atlas of the Biomasses dell'ENEA renders possible the sharing of the formed information using "open standard", that they concur to exceed many barriers all information sharing and to approach the data without large ties of technical character thus.

Carattere

Attualmente esistono in Italia studi e stime sulle potenzialità della biomassa contenuti nei piani energetici regionali e stime che presentano dei dati aggregati a livello nazionale; altri dati ancora si riferiscono a entità territoriali ristrette come province e comunità montane. Queste stime utilizzano metodologie diverse e si riferiscono ad anni diversi, presentano un problema intrinseco di non comparabilità, hanno un formato di consultazione che spesso è di tipo testuale, a volte mancano di

georeferenziazione e non presentano elementi di cartografia elettronica. Il censimento del potenziale energetico delle biomasse compie uno sforzo di standardizzazione metodologica sull'analisi delle varie tipologie di biomassa, e nello stesso tempo si avvale dei recenti sviluppi tecnologici per potenziare la sua efficacia informativa. Per raggiungere tale obiettivo viene utilizzato un GIS (Geographical Information System), software di estrema potenza e sofisticazione, ma interattivo e intuitivo, che consente agli utilizzatori finali vari gradi di elaborazione e visualizzazione dei risultati, senza necessariamente essere esperti di GIS.

Il GIS permette di gestire i database biomasse, elabora dati da telerilevamento satellitare, ormai sempre più usati nella diagnostica ambientale e agroforestale, usa dati raster e vettoriali, importa i sempre più diffusi WMS (Web Map Server) come quelli del portale cartografico nazionale, consente all'utente di produrre mappe tematiche. In definitiva un censimento delle biomasse su piattaforma tecnologica WEB-GIS è uno strumento di analisi, supporto alle decisioni per la installazione e logistica degli impianti a Biomassa e uno strumento di pianificazione e monitoraggio degli obiettivi Europei e nazionali di politica energetica.

Obiettivi

Nell'ambito di questo tema di ricerca sono stati definiti i seguenti obiettivi:

- Rilievo nelle province italiane dei parametri di relazione fra prodotti agricoli e biomassa residuale associata, che sono variabili in funzione di cultivar, sesti di impianto, pedoclimatologia, tecnologie di trasformazione agroindustriale;
- Stima della biomassa forestale accessibile e della produzione annua di arboricoltura da legno;
- Stima della produttività delle colture erbacee da dedicare alla filiera energetica tenendo conto delle caratteristiche pedoclimatiche italiane;
- Stima del potenziale delle biomasse fermentabili, ovvero determinazione del biogas producibile dallo sfruttamento dei reflui di allevamento bovino e suino in stabulazione, della frazione organica dei rifiuti solidi urbani, degli scarti di macellazione;
- Realizzazione di una piattaforma tecnologica in WEB-GIS dove i dati raccolti, organizzati in geodatabase, sono visualizzabili e consultabili interattivamente; all'interno della piattaforma sono visibili i layer di strade, ferrovie, limiti amministrativi, idrografia, aree protette, immagini satellitari. L'utente finale produce mappe tematiche personalizzate e importa dati di WMS (Web Map Service) funzionali alle analisi e implementazioni di filiere bioenergetiche da biomassa locale.

Team di progetto

Viste le competenze multidisciplinari richieste per la realizzazione del censimento e la realizzazione del portale WEB-GIS, hanno partecipato alla realizzazione del progetto:

- il Centro Ricerca sulle Biomasse dell'Università degli Studi di Perugia (CRB);
- il Centro interdipartimentale di Ricerca per le Energie Alternative e Rinnovabili (CREAR) dell'Università di Firenze;
- il Dipartimento di Economia e politica agraria dell'Università di Napoli Federico II;
- la Facoltà di Agraria dell'Istituto colture industriali dell'Università di Bologna;
- il Dipartimento ecologia forestale DISAFRI dell'Università della Tuscia di Viterbo;
- l'Associazione italiana biomasse (Itabia);
- il Centro Ricerche Produzioni Animali (CRPA);
- Planetek Italia s.r.l. (fornendo la suite ERDAS APOLLO Server, ed integrando il servizio Image Connect della Digital Globe).

Ciascun gruppo di lavoro ha prodotto uno o più documenti, strumenti di calcolo, linee guida per la progettazione ecc.

Banche dati delle biomasse censite

Sono stati costruiti 7 geodatabase, relativi a: biomassa agricola (paglie, patate, lolla di riso, gusci di frutta, vinacce e sanze), biomassa forestale (legno latifoglie, conifere, arboricoltura), colture energetiche (sorgo, miscanto, cardo, panico, arundo), biomasse fermentabili (biogas allevamenti, biogas da FORSU, biogas da scarti di macellazione).

Le analisi sono dettagliate a livello dei territori provinciali; i database sono visualizzabili in formato excel o interrogabili in modalità sql (standard query language).

I geodatabase biomasse sono collegati ai dati sorgente attraverso macro di acquisizione e controllo; il formato elettronico permette il calcolo dei dati di output attraverso algoritmi dedicati e consente l'aggiornamento automatico.

Portale WEB-GIS per la consultazione interattiva dei dati

È stato realizzato un portale WEB dove sono visualizzabili e scaricabili, in maniera interattiva e in modalità WEB-GIS, le informazioni (tavole e mappe tematiche) su potenzialità, distribuzione e tipologia di biomassa. L'utilizzo del portale è semplice e intuitivo e non richiede nessun applicativo speciale ma solo un normale browser internet (explorer, firefox).

Non ci si ferma tuttavia alla pur utile visualizzazione provinciale delle potenzialità delle biomasse: l'utente avanzato può andare oltre le elaborazioni GIS già contenute dal sistema, e dal WEB-GIS può connettersi ad altri server GIS per scaricare layer informativi, immagini e tematismi che, sovrapposte alle informazioni già contenute, offrono una base dati più completa e danno quindi la possibilità di fare analisi territoriali sulle zone individuate dall'utente ben più complesse di quelle presenti per default nel sistema.

Caratteristiche del sistema WebGIS

Al fine di implementare servizi web che fossero compatibili con le specifiche OGC/ISO, è stata selezionata la piattaforma WebGIS basata su ERDAS APOLLO Server. Questa soluzione ha consentito di catalogare e distribuire su web tutti i dati geospaziali del progetto tramite una interfaccia user-friendly. ERDAS APOLLO Server è stato inoltre scelto in vista di future evoluzioni del sistema, in quanto consente la pubblicazione, la catalogazione e la fruizione di dati geospaziali, implementando le funzionalità di base di un'infrastruttura di dati territoriali. ERDAS APOLLO Server è infatti il modulo principale dell'architettura APOLLO della ERDAS: auto-sufficiente per soddisfare i casi d'uso attuali del progetto, potrà in futuro essere completato dagli altri moduli della Suite APOLLO per soddisfare i eventuali flussi di lavoro più sofisticati.

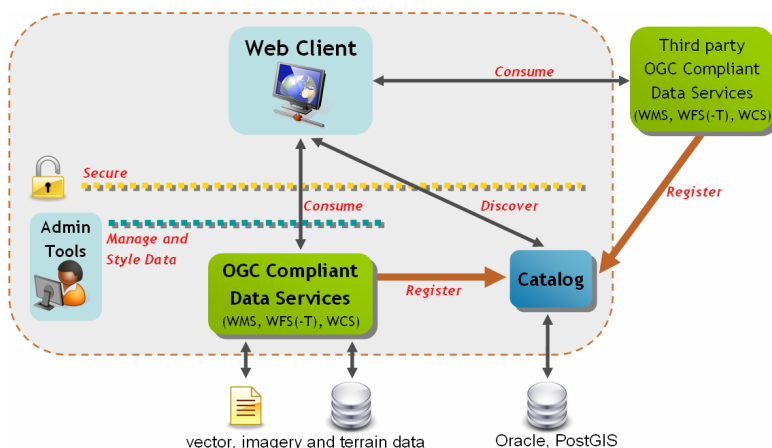


Figura 1 – Architettura del sistema.

ERDAS APOLLO Server è stato prescelto in virtù della possibilità offerta di pubblicare dati in maniera sicura, impostandone lo stile, e catalogando dati vettoriali, immagini e terrain-data attraverso servizi web compatibili OGC. In particolare, essendo ERDAS APOLLO Server basato nativamente su standard aperti dell'Open Geospatial Consortium (OGC) e l'International Standardization Organization (ISO), questo strumento si configura come una piattaforma interoperabile che consente all'ENEA di condividere i propri dati sia internamente che con soggetti terzi, sfruttando servizi Web Map Service (WMS), Web Feature Service (WFS and WFS-T) e Web Coverage Service (WCS), associati al supporto dei metadati nei formati GML 3 e ISO 19115/19139, consentendo così all'Atlante on-line delle Biomasse di comunicare con qualsiasi applicazione GIS o CAD che supporti questi standard. Il WebGIS realizzato consente la visualizzazione di oggetti geospaziali sia raster che vettoriali, utilizzando un motore grafico che consente il rendering contestuale *on-the-fly* attraverso l'interfaccia Web Map Service (WMS) e con il supporto dello Styled Layer Descriptor (SLD). Ciò consente ai fornitori di dati e agli utenti di definire più stili per ogni fonte di dati, per visualizzarle in maniera diversa a seconda delle esigenze. La creazione e il supporto di file Web Map Context (WMC) attraverso l'intera catena consente inoltre lo styling in funzione della scala.

L'Atlante delle Biomasse dispone di un sistema di sicurezza basato su regole, che consente la definizione di credenziali di accesso a livello di servizi e dati geospaziali. Questa caratteristica mutua pedissequamente una funzionalità offerta dalla piattaforma ERDAS APOLLO Server. Per ogni strato di servizi, l'amministratore di dati ha la possibilità di configurare tre tipi di impostazioni di sicurezza:

- a “grana grossa”, per autorizzare o negare l'accesso ai servizi in funzione del profilo di utenza;
- a “grana fine”, per autorizzare o negare l'accesso ai singoli dati in funzione del profilo di utenza;
- Sicurezza geospaziale:
 - Credenziali di area, per autorizzare o negare l'accesso ad una determinata zona geografica in funzione di un'area definita da rettangolo o un poligono;
 - Credenziali di scala, per negare l'accesso al di sotto o al di sopra di una determinata scala per ogni profilo di utenti;
 - Mascheratura, per prevenire la visualizzazione di una zona geografica definita con un rettangolo o un poligono. L'area può essere resa sfumata, trasparente o nascosta con un colore.

Caratteristiche del client WebGIS

Il client WebGIS realizzato da Planetek Italia s.r.l. offre all'utente finale un potente client web con il quale è possibile utilizzare:

- I servizi web creati con ERDAS APOLLO, propri dell'Atlante delle Biomasse
- Qualunque altro servizio web compatibile con gli standard OGC

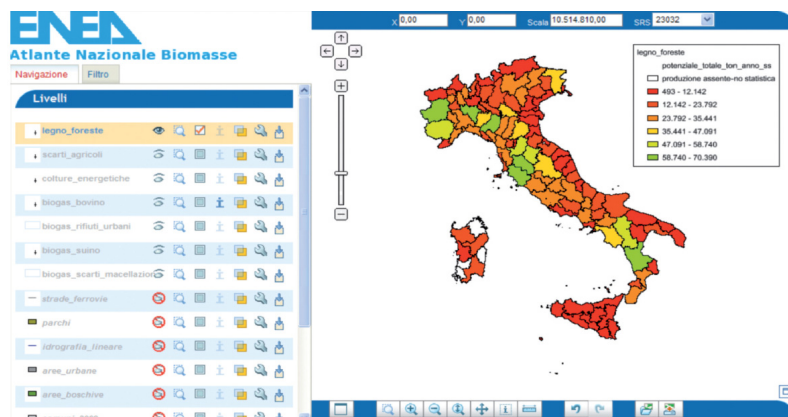


Figura 2 – Interfaccia del portale WebGIS Atlante Biomasse sito: www.atlantebiomasse.enea.it.

Il client web ERDAS APOLLO personalizzato per l'Atlante delle Biomasse dell'ENEA fornisce all'utente alcune importanti prerogative:

- Scoprire dati tramite diversi mezzi: da una ricerca di parole chiave nel catalogo dati e in un'area territoriale, inserendo l'URL di un servizio web compatibile OGC o ECWP, o ancora il caricamento di dati locali.
- Gestire e configurare contesti di mappe (WMC): sia di un contesto esistente che uno nuovo creato con i servizi scoperti in precedenza.
- Navigare i dati del contesto e visualizzarli nella proiezione più appropriato.
- In un flusso di lavoro di dati vettoriali, il client web consente di selezionare gli elementi (es. singole istanze di alcuni dati vettoriali) e la visualizzazione delle loro proprietà e attributi con un semplice clic del mouse. Le informazioni alfanumeriche e le proprietà geometriche possono poi essere modificate, come pure creare nuovi elementi da zero.
- Potenziando le funzionalità avanzate WFS, il client web di ERDAS APOLLO consente anche il filtraggio dei dati vettoriali, mediante la definizione di un filtro spaziale su misura e/o sulle informazioni alfanumeriche. I dati risultanti dal filtro possono poi essere visualizzati nel web client. Essi possono inoltre essere esportati in GML, Shapefile o KML per una efficace visualizzazione e utilizzo in applicazioni GIS e CAD.

La copertura nazionale di immagini satellitari Image Connect®

All'intero dell'Atlante Nazionale delle Biomasse, al fine di garantire la presenza di un dato raster di sfondo costantemente aggiornato che favorisse la maggiore interpretabilità dei dati visualizzati, è stato integrato il database Image Connect® della DigitalGlobe.

Image Connect® della DigitalGlobe è un'innovativa soluzione per la consultazione e fruizione delle immagini satellitari e foto aeree ad altissima risoluzione disponibili nell'archivio DigitalGlobe, direttamente all'interno del proprio progetto GIS. L'integrazione è stata effettuata connettendo l'Atlante delle Biomasse alla ImageLibrary on-line di DigitalGlobe, il più completo archivio di immagini aeree e satellitari del globo terrestre, fruito in modalità web service.

DigitalGlobe offre infatti, con ImageConnect®, un'innovativa modalità di fruizione dei dati, studiata appositamente per applicazioni come quella realizzata dall'ENEA, che hanno la necessità di disporre di immagini sempre aggiornate: una piattaforma web-services accessibile come servizio WMS (Web Map Service), che sostanzialmente mette a disposizione dell'utente l'intero database di immagini satellitari disponibili sul territorio italiano on-line.

La consultazione dell'Atlante delle Biomasse garantisce quindi una navigazione intelligente dei dati, che possono essere analizzati sovrapponendoli a dati provenienti anche da fonti esterne, nel rispetto di criteri di interoperabilità allo stato dell'arte.

Aggiornamento e supporto alle decisioni

Sulla base della consapevolezza che le superfici agricole e forestali possono mutare negli anni, che sesti di impianto, tecnologie di raccolta, trasformazione agroindustriale e forestale possono cambiare le produzioni unitarie di biomassa residuale, si è fatto in modo che il supporto informativo WEB-GIS possa essere accessibile per aggiornamenti in remoto a gruppi di lavoro autorizzati. Esperti dei centri ENEA e degli istituti scientifici partner di progetto (approccio sistemico e multidisciplinare) potranno aggiornare, direttamente dalla propria sede, i contenuti del geodatabase e inserire nuovi servizi WMS. Inoltre, essendo aggiornato, il WEB-GIS potrà essere usato come strumento di monitoraggio negli anni della implementazione in Italia delle filiere bioenergetiche, e potrà consentire la verifica del conseguimento in itinere degli obiettivi del position paper del MSE, del patto clima UE.

Integrazione di dataset geografici di copertura del Suolo e Censuari per la realizzazione di una mappa statistica sintetica

Stefano Mugnoli (*), Raffaella Chiocchini (**), Sandro Cruciani (***),
Antonella Esposto (****), Fabio Lipizzi (*****)

(*) ISTAT, Via Adolfo Ravà 150, Tel. 0646734431, stefano.mugnoli@istat.it
(**) ISTAT, Via Adolfo Ravà 150, Tel. 0646734470, raffaella.chiocchini@istat.it
(***) ISTAT, Via Adolfo Ravà 150, Tel. 0646734864, sandro.cruciani@istat.it
(****) ISTAT, Via Adolfo Ravà 150, Tel. 0646734430, antonella.esposto@istat.it
(*****) ISTAT, Via Adolfo Ravà 150, Tel. 0646734425, fabio.lipizzi@istat.it

Riassunto

Lo scopo del presente lavoro è la descrizione delle procedure utilizzate per l'integrazione di banche dati geografiche che hanno permesso la realizzazione di cartografie statistiche sintetiche. Tale attività è la naturale continuazione di una sperimentazione già presentata da Fabio Lipizzi dell'ISTAT al Convegno 'Le statistiche agricole verso il Censimento del 2010: valutazioni e prospettive' (Cassino 2006). In particolare, la sperimentazione illustrata riguarda la gestione e integrazione di dati sulla Copertura del Suolo in ambito extraurbano raccolti, organizzati ed elaborati da AGEA (Agenzia per le Erogazioni in Agricoltura), con dataset cartografici realizzati dall'ISTAT (Istituto Nazionale di Statistica) per l'aggiornamento delle Basi territoriali per i Censimenti del 2011.

Il lavoro sperimentale di elaborazione e integrazione è stato effettuato per la provincia di Viterbo; per l'elaborazione e integrazione dei dati si sono utilizzati tools GIS contenuti nel software ESRI ARCGIS versione 10.

Il principale risultato ottenuto è la produzione di database geografici integrati che possono permettere l'estrazione di un gran numero di informazioni statistiche sulla copertura del suolo mediante delle semplici query SQL. Tali informazioni ottenute per diversi livelli territoriali risultano essere un elemento molto importante per poter valutare quantitativamente e qualitativamente l'attuale copertura e uso del suolo in Italia. Sebbene l'elaborazione di dati provenienti da più fonti implica di per sé una manipolazione del dato di base e la perdita di una parte dell'accuratezza, il risultato finale di generalizzazione e standardizzazione a tutto il territorio nazionale porta ad avere un grande valore aggiunto nella lettura ed utilizzo del dato finale. In questa direzione le attività future prevedono la messa a punto di una legenda definitiva che possa avere una corrispondenza univoca con lo standard europeo Corine Land Cover, l'automatizzazione di tutti i processi di elaborazione dei dati di partenza e l'integrazione con ulteriori banche dati per poter aumentare il dettaglio, ridurre l'errore nella generalizzazione ed estendere le procedure all'intero territorio nazionale.

Abstract

The aim of this presentation is to describe the procedures used to integrate geographic datasets that have permitted to realize statistic synthetic maps. The activity is the sequel of a experimentation that was illustrated by Fabio Lipizzi in 'Le statistiche agricole verso il Censimento del 2010: valutazione e prospettive' congress (Cassino 26-27/10/2006). In details, the activities regard the management and fusion between Land Cover data concerning hinterland areas that were collected, organized and elaborated by AGEA (Agency for the Agricultural Supplies) and cartographic datasets produced by ISTAT (Italian National Institut of Statistics) during the upgrade of the 2011 Census cartography. This integration and elaboration work is in progress and under assessment; just the Viterbo and Parma province are ready now. All integration and elaboration procedures were realized using

ARCGIS tools (version 9.3.1 – ARC/INFO. The main result was to produce integrated geographic datasets that can be used to extract a lot of statistical information about Land Cover by very simply SQL query.

All the information can be a very useful instrument to evaluate the quality and the real use of Italian land cover although the integration of data that came from different source can involve an accuracy loss and a generalization of the final product, the extension of the elaboration to the entire Italian territory increase the value of the input data. The future activity will be planned to define a final legend according to the European standard Corine Land Cover legend, to automate all input data process and integration with other geographic databases source, to increase the data details and to reduce the generalization of input data.

Introduzione

Produrre Cartografia su copertura e uso del suolo in base alle specificità del territorio è un argomento di grande interesse che ha portato in diverse discipline afferenti la cartografia, la geografia, e le scienze naturali ed ambientali alla produzione di dati molto interessanti. A livello Europeo il progetto Corine Land Cover è quello che meglio riesce ad individuare e rappresentare l'estensione e l'evoluzione nel tempo delle coperture del suolo nei paesi membri della comunità europea. Uno dei principali problemi riscontrati per la classificazione di copertura e di uso del suolo è l'adozione di una legenda univoca che in modo dettagliato permetta di individuare e cartografare delle unità territoriali significative e rappresentabili a diverse scale di dettaglio. Il Corine Land Cover permette di avere delle rappresentazioni cartografabili a diversi livelli di dettaglio che vanno dal primo livello al quinto livello con un dettaglio molto elevato solo per alcuni fenomeni che riguardano principalmente la copertura dei territori boscati.

I dati presenti sul nostro territorio di uso e copertura del suolo spesso provengono da fonti diverse. Il principale obiettivo di questo progetto è stato quello di omogeneizzare, confrontare e integrare dati provenienti da fonti diverse in un'unica carta di copertura ed uso del suolo.

Dati utilizzati

I dati utilizzati sono:

- Dati cartografici del censimento della popolazione e delle abitazioni anni 2001 e 2011 (provvisori) – utilizzati principalmente in area urbana;
- Land cover delle particelle catastali provenienti dal Refresh Agea 2009 – utilizzati principalmente in ambito extraurbano;
- Il database Popolus (Permanent Observation Point for Land Use Statistics 2004)- la griglia puntuale è stata utilizzata solo per meglio codificare i poligoni in cui ricadevano i punti;
- I Point of Interest di Teleatlas (Release 2010) per codificare meglio i poligoni in ambito urbano.

Il progetto pilota è stato realizzato sulla provincia di Viterbo in quanto si disponeva già di un lavoro eseguito sulla stessa provincia da F. Lipizzi e S. Mugnoli già presentato al Convegno 'Le statistiche agricole verso il Censimento del 2010: valutazioni e prospettive' (Cassino 2006).

Nella figura 1 e 2 sono rappresentati i dati di partenza su cui è stata effettuata la sperimentazione.

Il Refresh Agea 2009 presenta 21 classificazioni differenti di uso del suolo, il dettaglio principale si ha sui tipi di coltivazione arborea, sugli alberi da frutta, sulle aree seminabili e sui pascoli.

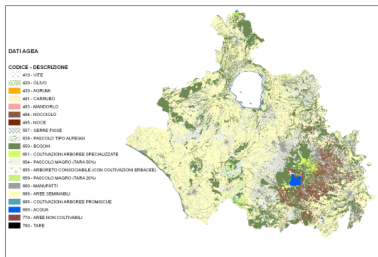


Figura 1 – Land cover provincia di Viterbo dati Refresh Agea.

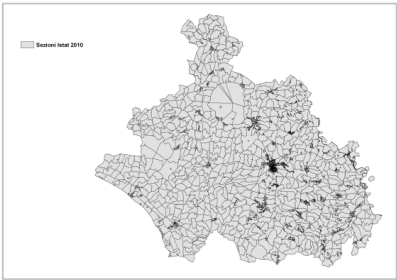


Figura 2 – Sezioni di censimento della provincia di Viterbo dati ISTAT.

- I dati Istat invece hanno tre tipi di attributi:
- Attributi territoriali - 11 codici (fiume, lago, laguna, etc.);
 - Attributi delle aree di censimento - 18 codici (aeroporto, cimitero, area produttiva, etc.);
 - Località speciali - 57 codici (monastero, scuola, ospedale, etc.).

I dati provenienti dal database di Popolus e dai Point of interest di Teleatlas sono stati utilizzati sia in ambito urbano che extraurbano in diverse modalità per codificare in maniera puntuale zone estrattive, discariche, infrastrutture (stazioni e aeroporti etc.), le aree industriali, centri commerciali e altri luoghi di pubblico interesse.

Sia i dati Istat che quelli Agea sono stati elaborati con procedure ArcGIS al fine di renderli omogenei e riuscire a riportarli alla classificazione del Corine Land Cover. Le procedure adottate sono diverse per i dati in ambito urbano e quello extraurbano e sono riassunte nello schema riportato nella tabella di seguito (figura 3):

Dati di input refresh AGEA	Dati di input Istat
Estrazione di tutte le singole classi del Refresh	Estrazione delle tre classi principali dei dati ISTAT tessuto urbano continuo (classe 1), tessuto urbano discontinuo (classe 2 e 3) e extraurbano (classe 4)
Processamento con gli Arctoolbox Topology, Identity, Append, Clip	Estrazione dai dati Refresh e Istat di tutte le classi nelle aree urbane e creazione di un unico livello denominato Aree Verdi Urbane
Generalizzazione del Land Cover con il dissolve sulle Sez2011 sulle classi AGEA	Classificazione dei poligoni urbani attraverso le classificazioni ISTAT delle aree specili e con i database Popolus e POI di teletlas
Codifica nelle Classi del Corine Land Cover (2,3,4 livello)	Codifica nelle classi del Corine Land Cover
Creazione del File di Output attraverso l'unione di tutte le classi in un unico nuovo file di copertura del suolo	

Figura 3 – Tabella di riepilogo dei processi effettuati sui dati di INPUT.

Una volta ottenuto il prodotto finale, nel database è stato aggiunto un campo dove è stato ottenuto il calcolo della percentuali diverse di uso del suolo presenti nelle sezioni di censimento e associate ai corrispondenti poligoni di copertura del suolo classificati con il Corine Land Cover. Il prodotto finale è riportato nella Figura 4 in cui si può vedere il risultato di Output delle procedure effettuate sui dati di INPUT e delle integrazioni tra i dati ISTAT e dati Refresh AGEA 2009.

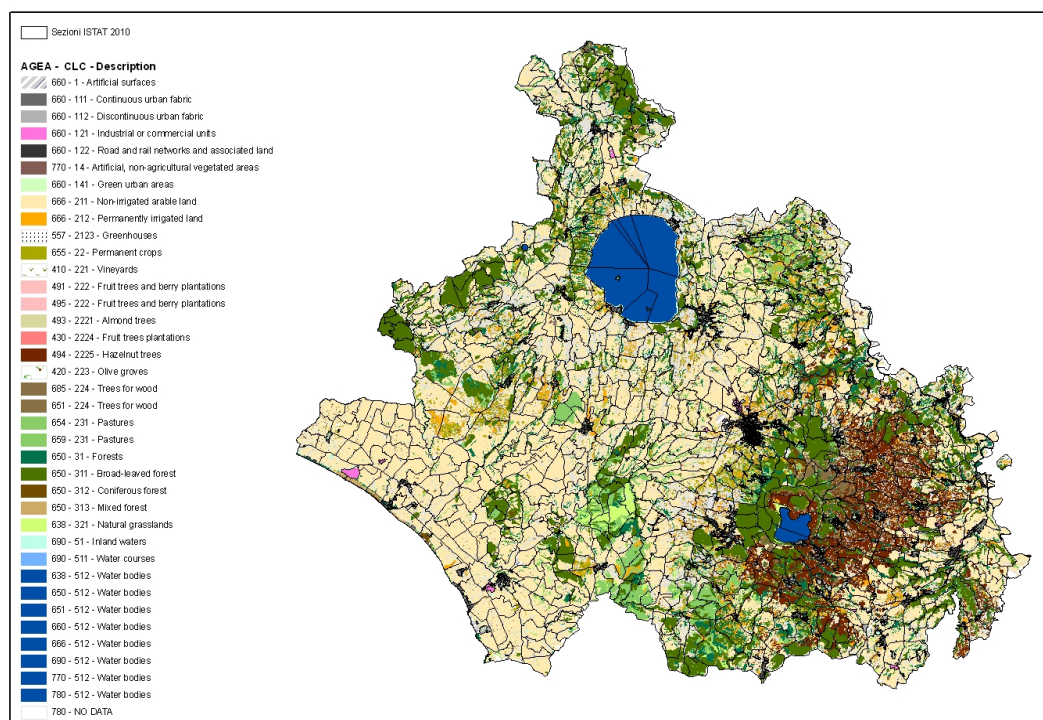


Figura 4 – Carta finale di copertura e uso del suolo della Provincia di Viterbo.

Nella pagina seguente vengono riportati alcuni esempi di classificazione delle sezioni di censimento nelle aree urbane.

Green Urban Area CLC 141

 Sezioni di censimento ISTAT 2011

 Classe "Urban green areas"
Dati Refresh AGEA



Road and rail networks and associated land CLC 122

 Sezioni di censimento ISTAT 2011

 Attributi dati POPOLUS (122 CLC)



Sport and leisure facilities CLC 142

 Sezioni di censimento ISTAT 2011

 Attributi dati POPOLUS (142 CLC)



Figura 5 – Diversi tipi di classificazioni in ambito urbano.

Risultati

La classificazione delle sezioni di censimento attraverso la codifica del Corine Land Cover risulta essere abbastanza precisa e questo si può valutare meglio attraverso la sovrapposizione con le immagini delle ortofoto AGEA 2009.

Le sezioni di censimento in ambito urbano, per le principali infrastrutture, sono state interamente attribuite all'uso del suolo prevalente mentre, per quanto riguarda le aree verdi il dettaglio di copertura e uso del suolo resta a livello di particella catastale così come è stata classificata nel Refresh AGEA 2009.

Sulla provincia di Viterbo il progetto è stato migliorato sia in ambito urbano che extraurbano utilizzando anche altri dati puntuali provenienti da altre fonti che hanno permesso una codifica delle sezioni speciali più precisa e puntuale. Di seguito sono riportati i risultati ottenuti sui poligoni della carta di uso del suolo definitiva.

in ambito urbano si hanno:

- N. sez. con tipologia specifica (IV liv. CORINE): 135
- Reti ferroviarie con superfici annesse: 16
- Insediamenti ospedalieri: 4
- Insediamento dei grandi impianti di servizi pubblici e privati: 88
- Insediamento commerciale: 2
- Insediamento industriale o artigianale con spazi annessi: 25
- N. alloggi/Sez. area > 1% - Tessuto residenziale altamente denso (156 sezioni)
- N. alloggi/Sez. area >0,5 e <1% - Tessuto residenziale denso (227 sezioni)
- N. alloggi/Sez. area >0,1 e <0,5% – Tessuto residenziale mediamente denso (634 sezioni)
- N. alloggi/Sez. area >0,01 e <0,1% – Tessuto residenziale poco denso (306 sezioni)
- N. alloggi/sez. area <0,01% - Tessuto residenziale scarsamente denso (0 sezioni)

In ambito extraurbano si hanno:

- Manufatti: (25 Nuclei declassati)
- Coltive permanenti: 2 (II livello CORINE)
- Boschi (generico): 8 (II Livello CORINE)
- Coltivi in aree non irrigue: 453
- Coltivi in aree irrigue: 21
- Vigneti: 1
- Oliveti: 19
- Arboricoltura da legno: 6
- Pascoli: 25
- Boschi di latifoglie: 136
- Boschi di conifere: 1
- Praterie naturali: 4
- Bacini d'acqua: 11
- Incolto: 1
- Insediamento industriale o artigianale: 15
- Insediamento dei grandi impianti dei servizi pubblici e privati: 2
- Reti stradali e spazi accessori: 1
- Reti ferroviarie e spazi accessori: 1
- Aree sportive: 1
- Noccioli: 64
- Corsi d'acqua: 34

Questi risultati risultano essere molto interessanti considerando che si partiva per la provincia di Viterbo da:

- N. Sezioni di Località abitata: 1588
- Centri abitati: 1348
- Nuclei abitati: 163
- Località Produttive: 77
- N. Sezioni di Case Sparse: 831

Alla fine del lavoro effettuato sulla provincia di Viterbo, riassumendo si hanno :

- N. Sezioni tipizzate: 1422 (89,55%)
- N. Sezioni senza tipologia: 166 (110 nuove sezioni)

Infine viene di seguito riportato un esempio dell'utilizzo del campo aggiuntivo in cui sono riportate le statistiche di uso e copertura del suolo sulle sezioni di censimento, questo risulta essere l'elemento di innovazione su un prodotto di questo tipo. Ovviamente trattandosi di un progetto pilota il calcolo statistico delle diverse percentuali di uso e copertura del suolo nelle sezioni di censimento, come unità territoriale più piccola di riferimento, risulta essere affetto da un errore che ancora non è facile quantificare. Nel tempo sicuramente questo errore potrà essere in parte corretto sia usando dati sempre più precisi e dettagliati, forniti dal nuovo Refresh Agea e dal censimento ISTAT 2011, sia con il miglioramento delle procedure di processamento del dato e infine anche con l'adozione di metodi statistici di stima via via sempre più precisi. Poter avere delle statistiche su uso e copertura del suolo a livello di sezione di censimento come unità minima di riferimento è sicuramente molto interessante in quanto le aggregazioni territoriali di livello superiore che possono essere ottenute possono riguardare sia disaggregazioni territoriali convenzionali come Regioni, Province, Comuni e Sistemi Locali del Lavoro, che altri tipi di disaggregazioni territoriali non convenzionali definite in base alle necessità dell'utenza.

CLC Classification (2° Lev.)

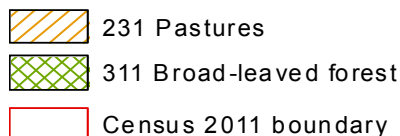
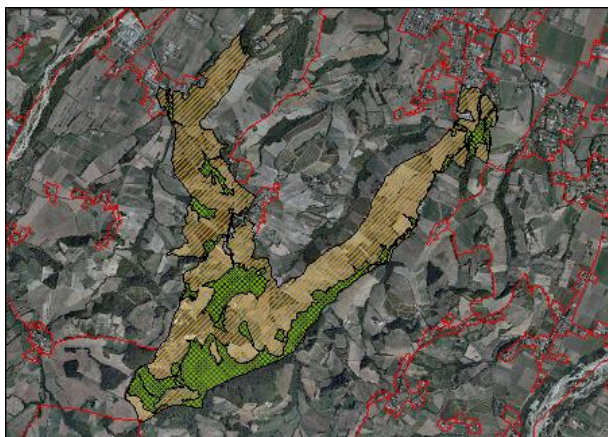


Figura 6 – Esempio di classificazione statistica di uso/copertura del suolo.

Di seguito è riportata anche la tabella associata alla classificazione di copertura del suolo riferita alla figura 7.

Codice ISTAT	SEZ2011	CLC Class	Percent
8034013	340130000053	231	75,2
8034013	340130000053	311	24,8

Figura 7 – Tabella riassuntiva della classificazione statistica di uso/copertura del suolo.

Conclusioni

I risultati ottenuti dimostrano che la procedura utilizzata può essere un buon punto di partenza per estendere l'elaborazione a tutto il territorio nazionale e per aumentare il dettaglio della legenda per gran parte dei poligoni almeno al IV livello del Corine Land Cover. A tal proposito un fondamentale set di dati, sicuramente sarà fornito con il lavoro derivante dal Censimento della popolazione

dell'ottobre 2011 e dal nuovo Refresh AGEA in cui sarà presente insieme alla vecchia classificazione la codifica nelle classi del Corine Land Cover. Si può pensare, avendo tali dati a disposizione di mettere a punto una procedura che permetta di stimare i cambiamenti di copertura/uso del suolo con scadenza annuale (almeno per alcune classi del Corine) su tutto il territorio nazionale. Ci si aspetta inoltre che quando saranno disponibili i nuovi dati di censimento si potranno ottenere dei miglioramenti soprattutto in ambito urbano. Soprattutto su questa parte del lavoro, l'Istat ha avviato un progetto, che a breve metterà a disposizione di dati georeferenziati di archivi amministrativi delle principali infrastrutture di pubblico interesse (scuole, ospedali, stazioni ferroviarie, aeroporti, porti etc.) che permetteranno ancor di più di individuare ed attribuire un codice univoco e riconducibile alla classificazione del Corine Land Cover, alle sezioni speciali in cui i punti ricadono. Il miglioramento del progetto pilota in questa direzione che è già stato avviato per la provincia di Viterbo si auspica che a breve potrà essere esteso anche alle altre province Italiane

Riferimenti bibliografici

Lipizzi F., Mugnoli S.; 'Integrazione di disegni territoriali e sperimentazione di una "cartografia censuaria" Atti del convegno "Le statistiche agricole verso il Censimento del 2010: valutazioni e prospettive", Università di Cassino 26-27/10/2006; pubbl. Novembre 2008;

SIN (Sistema Informativo Nazionale per lo sviluppo dell'agricoltura) – 'Refresh esteso, Specifiche tecniche di rilevazione' – Versione 2 del 5 agosto 2011;

R. Chiocchini, S. Cruciani, S. Mugnoli - Land Cover and Census integration geographic datasets to realize a statistics synthetic map - Esri EMEA UC October 26-28, 2010 Rome;

(http://www.esriitalia.it/emea2010/files_to_update/post/industry_track.php)

Sinanet ISPRA - Nomenclatura italiana Corine Land Cover 4° livello – Roma 4 Giugno 2010

(http://www.sinanet.isprambiente.it/it/coperturasuolo/dettagli_tecnici_clc2006);

Processi e limiti della derivazione cartografica semiautomatica di una cartografia igm serie 25db da un database relativo alla ctr 10k

Fabrizio Niceta (*), Andrea Scianna (**)

(*) Dottore di ricerca in scienze del rilievo e della rappresentazione, libero professionista
Via terrasanta 93, 091300850, faniceta@gmail.com

(**) ICAR-CNR c/o DICA, Università degli Studi di Palermo
Viale delle Scienze, edif. 8, 0039 091 7028734, 0039 091 588853, andrea.scianna@cnr.it

Riassunto

Le restrizioni dovute alle continue crisi economiche rendono difficoltose alcune attività da parte di Enti Pubblici. Un caso tipico è quello dell'Istituto Geografico Militare autore di una vasta produzione cartografica, che negli ultimi anni non è stata più aggiornata.

Poiché l'attività di aggiornamento cartografico viene oggi condotta con una certa frequenza dalle regioni italiane per le carte tecniche regionali, emerge la possibilità di poter eseguire l'aggiornamento di talune carte derivate dell'IGM utilizzando le carte tecniche regionali a scala maggiore.

Tale considerazione induce a perseguire lo studio dei metodi di derivazione il più possibile automatizzati, fatto reso possibile dagli avanzamenti tecnologici nel campo dell'informatica e dell'informazione geografica in particolare.

Sulla base di tali considerazioni è stato condotto il lavoro che si presenta, nell'ambito del quale si è cercato di definire metodi e procedure per la derivazione di cartografia numerica a 1:25.000 a partire da carte tecniche, a più grande scala, di recente produzione nella regione siciliana.

Le tavolette alla scala 1:25.000 costituiscono infatti una Produzione cartografica di rilievo per l'IGM data anche la loro diffusione e la vastità del bacino di utenza. L'I.G.M. ha proposto una metodologia orientata alla derivazione della carta topografica alla scala 1:25000 da dati territoriali rilevati dagli Enti Regionali (passaggio 1:5000/1:10000 a 1:25000) integrando ove necessario i dati con ulteriori elementi rilevati.

Tale metodologia è stata presa come riferimento per la conduzione del lavoro illustrato.

L'operazione di derivazione richiede alcuni passi fondamentali quali:

- l'analisi delle specifiche delle due scale di rappresentazione GeoDBR (1:10000); DB25 (1:25000)
- la definizione del modello di dati del DB25 al quale dobbiamo giungere attraverso la derivazione
- l'analisi delle differenze tra i due modelli (GeoDBR e DB25)
- la definizione delle regole di derivazione del DB25 dal GeoDBR.
- la definizione del processo di generalizzazione che tradizionalmente si divide in due sottosezioni:
 - Generalizzazione semantica
 - Generalizzazione geometrica

Il lavoro condotto mostra come sia possibile applicare procedure il più possibile automatizzate che consentano di conseguire una significativa riduzione dei tempi e dei costi di produzione di cartografie a scala ridotta.

Sulla base del lavoro condotto viene quindi mostrato un esempio di derivazione cartografica applicato alla cartografia originale ctr10k, derivando per quanto possibile e limitatamente ai dati derivabili da tale db, il relativo 25db cioè la versione database della cartografia IGM 25000.

Abstract

The restrictions due to ongoing economic crisis make it difficult to carry out some activities by public bodies. A typical case is that the Military Geographic Institute author of an extensive cartographic production, which in recent years none have been more up to date.

As the activity map update is now being conducted with some frequency by the Italian Regions for the production of regional technical maps, the possibility, to derive certain IGM maps using the regional technical maps on a larger scale, now emerges. This consideration leads us to pursue the study of methods of derivation as automated as possible, thanks also to technological advances in information technology and geographic information in particular. The work here presented started from these considerations; in its development we tried to define methods and procedures for the derivation of numerical cartography at scale 1:25.000 from technical cartography at larger scale recently produced by Sicily Region Administration. Cartography at the scale of 1:25.000 Map is a production relevant to the IGM for the large diffusion to a large number of users. The I. G.M. also proposed a methodology oriented to the derivation of topographic map at 1:25.000 scale form spatial data to be collected by the Regional Authorities (step 1:5000 / 1:10000 to 1:25000) integrating where necessary with additional data elements collected.

This methodology has been taken as a reference for the development of the work here described.

The operation of derivation requires some basic steps such as:

- analysis of the specific of the two scales of representation GeoDBR (1:10000), DB25 (1:25000)
- the definition of the process of generalization that is traditionally divided into two subsections:
 - semantic Generalization
 - geometric Generalization
- the definition of the data model to which we have to come through DB25 derivation
- analysis of the differences between the two models (GeoDBR and DB25)
- the definition of the rules derived from the DB25 GeoDBR.

The work carried out shows that it is possible to apply automated procedures to allow as much as possible to achieve a significant reduction in the time and cost of production for small scale maps.

On the basis of the work carried out, an example of derivation of cartography at 1:25.000 map scale from CTR10K.

Basi teoriche

Il processo di derivazione cartografica come insieme di processi di generalizzazione.

Con l'espressione "Derivazione Cartografica" si intende l'insieme di quei processi di "generalizzazione" necessari per ottenere una visualizzazione più chiara di una cartografia ad una determinata scala riducendo i dettagli o eliminando gli elementi meno importanti ed esaltando i livelli su cui porre l'interesse.

Le fasi della derivazione cartografica GeoDBR (1:10.000) → DB25 (1:25.000) si possono così riassumere:

- Analisi delle differenze tra i 2 modelli (GeoDBR e DB25);
- Definizione delle regole di derivazione del DB25 dal GeoDBR: non semplice riduzione di scala, ma:
 - accorpamenti (edifici), dipendenti dal contesto;
 - trasformazioni di elementi areali in lineari (idrografia);
 - rappresentazioni mediante simboli;
 - modifiche delle dimensioni (viabilità);
 - conseguenti spostamenti di oggetti.
 - definizione di un modello dei dati del DB25;
 - altri processi di generalizzazione cartografica.

In particolare analizziamo le fasi (processi di generalizzazione) che costituiscono la derivazione cartografica:

L'espressione "generalizzazione cartografica" indica un insieme di procedure, facenti parte della più ampia attività di derivazione, atte a realizzare una rappresentazione dell'informazione geografica il cui livello di dettaglio dipende dalla scala di visualizzazione che si intende adottare.

L'obiettivo di questo tipo di tecniche è la produzione di cartografie a scale minori rispetto a quella originale; per tale motivo, nel processo di generalizzazione, si effettuano operazioni più o meno complesse atte a variare il contenuto della cartografia stessa (Keates, 1989).

Il processo di generalizzazione cartografica si applica ad un insieme di dati in ingresso precedentemente gerarchizzati e codificati secondo ben determinate specifiche rispondenti agli standard utilizzati a livello nazionale e/o europeo.

I dati di ingresso vengono quindi interpretati (Il computer deve essere in grado di leggere i dati), subiscono procedure di astrazione (Il computer deve essere in grado di interpretare i dati) ed infine di rappresentazione (E' necessario insegnare al computer cosa fare con i dati).

La generalizzazione geometrica cartografica è un processo che si applica ad entrambi i formati grafici, RASTER e VETTORIALE a differenza della generalizzazione semantica ch'è un processo che si applica al solo formato vettoriale.

FORMATO RASTER	FORMATO VETTORIALE
	Generalizzazione Semantica
Generalizzazione Geometrica	Generalizzazione Geometrica

Nel caso di cartografie raster si possono trattare cartografie monocromatiche o a colori.

Nel caso di una cartografia monocromatica, la generalizzazione avviene tramite una semplice riduzione di scala ed uno sfoltimento delle informazioni grafiche superflue.

Nella derivazione del formato raster a colori si procede innanzi tutto ad una riduzione di scala.

Una volta ridotta la scala bisogna eliminare gli elementi grafici che non fanno parte delle specifiche cartografiche inerenti alla scala scelta per la derivazione.

Tali elementi grafici in genere sono classificati da diverse campiture e coloriture.

A differenza della carta monocromatica, la presenza del colore aiuta ad identificare gli elementi cartografici che devono essere rimossi.

Nella derivazione del formato vettoriale si procede prima ad un confronto tra gli elementi che caratterizzano la rappresentazione alla scala derivata con quella di origine per poi individuare:

- elementi che possono essere trasferiti sic et simpliciter;
- elementi che devono essere eliminati;
- elementi che devono essere trasformati;

La generalizzazione cartografica eseguita da operatore umano richiede un gran numero di risorse in termini di tempo ed attenzione, ed è per questo che ancora oggi la ricerca su procedure di generalizzazione cartografica automatica rimane un tema di estrema importanza.

Si rendono necessari processi di generalizzazione cartografica sia per la produzione di cartografie, sia per la derivazione da una scala arbitraria da una database principale, ed infine per l'aggiornamento automatico di un database multiscala; pertanto i metodi di generalizzazione si possono ritenere un prerequisito per una mappatura dinamica che rispetta le scale e le posizioni.

L'obiettivo degli enti di produzione cartografica è quello di derivare automaticamente una cartografia ad una scala arbitraria usando come sorgente una singolo dettagliato database cartografico ad alta risoluzione.

Un tale database renderebbe possibile lo "storage" ed il mantenimento di dati geografici e contemporaneamente, se esistessero algoritmi di generalizzazione totalmente automatici, la derivazione ad una scala arbitraria dello stesso database.

Fino a che non si svilupperanno tali algoritmi i dati geografici saranno conservati in database chiamati “multiscala” che contengono diversi “dataset” a scale differenti. (Kilpeläinen and Sarjakoski 1995). Attualmente la cartografia viene prodotta da tali dataset.

I software commerciali GIS comunemente venduti offrono funzionalità per creare facilmente cartografie da dati spaziali e permettono tra l'altro di eseguire elaborazioni per la generalizzazione.

Possiamo distinguere due modalità di intervento:

- la generalizzazione della descrizione semantica degli oggetti;
- la generalizzazione cartografica.

La prima è riferita all'estrazione di informazioni specifiche dai dati sorgente (data set) e la loro immissione in un database principale da cui derivare successivamente nuove basi di dati, con meno dettagli rispetto al principale, per l'analisi ed eventuali applicazioni a scale diverse.

La generalizzazione cartografica produce invece risultati grafici o visualizzazioni del database, quali carte stampate o raster a scale diverse.

Purtroppo non esistono ancora algoritmi in grado di attuare in maniera totalmente automatica dei processi di generalizzazione che dipendono, comunque, fortemente dalla capacità umana di pianificare, strutturare e rappresentare i fenomeni del mondo reale per il fatto di avere una conoscenza globale sia della loro rappresentazione grafica che delle importanti interconnessioni logiche che ne regolano le dipendenze. L'attuale ricerca nel campo della generalizzazione è tutta rivolta al raggiungimento di un adeguato grado di automazione di tali operazioni, tuttavia questo traguardo dipende dallo sviluppo di algoritmi di riconoscimento automatico dei modelli, tecnologia non ancora disponibile nell'attuale generazione di software dedicati ai GIS e alla cartografia.

Nel corso degli anni sono stati messi a punto diversi operatori per la generalizzazione geometrica, in particolare è notevole l'opera compiuta da McMaster e Shea a partire dal 1989 ed ai cui lavori oramai ci si riferisce per le comuni applicazioni.

Alcuni tra i più importanti operatori per la generalizzazione geometrica sono stati suddivisi sulla base delle primitive sulle quali agiscono o su gruppi di esse.

- *Unione (aggregation)* fonde in un unico elemento oggetti che precedentemente erano separati o distinti. La scelta degli oggetti da sottoporre a questi tipo di operazione si basa su considerazioni di tipo semantico.
- *Tipificazione (typification)* riduce la complessità di un gruppo di oggetti attraverso la loro eliminazione, riposizionamento, allargamento o aggregazione mantenendo la disposizione tipica di quegli oggetti;
- *Dislocazione (displacement)* indica il movimento di un oggetto, mantenendo la forma invariata;
- *Allargamento (exaggeration)* definisce un locale incremento (o diminuzione) di un oggetto, la sua forma si modifica. Si usa quando, a causa della riduzione di scala, elementi importanti non risultano più leggibili e chiari;
- *Trasformazione (collapse)* trasforma oggetti areali in punti o linee risolvendo la progressiva mancanza di spazio in una cartografia derivata. Il metodo più semplice per ottenere questo risultato è generare un centroide per l'area e utilizzare il punto risultante per localizzarla sul territorio;
- *Eliminazione (elimination)* rimuove un oggetto (punti, linee e aree) da una categoria di dati. Tale processo viene mediato attraverso l'applicazione di misure di prossimità di elementi appartenenti alla stessa classe;
- *Accrescimento (enlargement)* indica un globale incremento della forma di un oggetto;
- *Semplificazione (simplification)* riduce la granularità dei contorni di linee e aree. In pratica si produce una versione semplificata dell'oggetto eliminando la ridondanza di punti. Può essere utilizzato con successo l'algoritmo di Douglas e Peucker;
- *Lisciamento (smoothing)* addolcisce il contorno di un oggetto dopo che questo è stato sottoposto all'operazione di semplificazione.

Il processo di derivazione cartografica come insieme di processi di generalizzazione

Le fasi della derivazione cartografica GeoDBR (1:10.000) → DB25 (1:25.000)

si possono così riassumere:

Analisi delle differenze tra i 2 modelli (GeoDBR e DB25);

Definizione delle regole di derivazione del DB25 dal GeoDBR: non semplice riduzione di scala, ma:

- accorpamenti (edifici), dipendenti dal contesto;
- trasformazioni di elementi areali in lineari (idrografia);
- rappresentazioni mediante simboli;
- modifiche delle dimensioni (viabilità);
- conseguenti spostamenti di oggetti.
- definizione di un modello dei dati del DB25;
- altri processi di generalizzazione cartografica.

In particolare analizziamo adesso le fasi della derivazione cartografica:

Generalizzazione semantica

La determinazione dei contenuti informativi in una cartografia è notevolmente facilitata dall'esistenza di strutture gerarchiche della banca dati sorgente.

Due operazioni sono particolarmente importanti nella gestione ed elaborazione di tali strutture:

- **classificazione**
- **aggregazione.**

La *classificazione* è l'operazione sulla struttura gerarchica più familiare in quanto è possibile selezionare un vasto numero di schemi di suddivisione e ripartizione, che permettono di classificare ed accorpare tutti gli elementi da rappresentare che hanno caratteristiche comuni in uniche entità (un esempio è l'accorpamento di diverse classi di fiumi in un'unica classe già sufficiente alla rappresentazione a scale ridotte).

Attraverso la classificazione è possibile operare una prima divisione degli elementi in classi più grandi, come l'idrografia, i trasporti o l'edificato. Sarà, inoltre, possibile effettuare un'ulteriore suddivisione in base ad altri criteri, legati alle finalità che la cartografia derivata dovrà soddisfare.

Una volta che i dati sono stati classificati gerarchicamente usando concetti rilevanti per le finalità preposte, è possibile derivare nuove regole per la selezione delle informazioni sulla base della loro posizione all'interno delle gerarchie stesse.

L'aggregazione concerne la composizione di particolari fenomeni che possono essere usati per rappresentare particolari oggetti o parte di essi.

Basti pensare a tutti quei casi in cui, il passaggio a scale minori, contestualmente alla diminuzione di dettagli geometrici, pone il problema di trovare nuove strutture di riconoscimento di aggregazioni di elementi per i quali il database prevede solo informazioni legate alle singole parti.

In base a questa prima selezione deve essere avviato un processo di identificazione degli oggetti della rappresentazione al fine di individuare il loro grado di importanza all'interno dei processi decisionali e procedere verso una loro gerarchizzazione funzionale; punto di partenza per questa operazione è la generazione di nuovi livelli informativi (layer).

A causa della cronica inadeguatezza riportata dalle cartografie numeriche oggi prodotte, il contenuto informativo da esse riportate risulta essere fortemente limitato da esigenze di tipo grafico.

Il trattamento degli oggetti all'interno del sistema informativo risente di queste problematiche e impedisce una piena attuazione delle metodologie sopra considerate.

In virtù di ciò, le operazioni di astrazione logiche sono circoscritte a quegli elementi che, garantendo piena congruenza, riescono a veicolare pienamente le informazioni geografiche originali.

Generalizzazione geometrica

Dopo aver effettuato la generalizzazione semantica, nella quale sono state determinate le categorie di oggetti da mantenere, con o senza modifiche, si passa alla generalizzazione geometrica.

L'obiettivo di questa operazione è quello di ottenere una rappresentazione derivata chiara e leggibile.

Infatti, la riduzione di scala di una carta è solitamente accompagnata dalla riduzione degli oggetti visibili, così come l'ampliamento e/o l'ingrandimento di oggetti considerati fondamentali che altrimenti non potrebbero essere visibili a quella scala.

Questi cambiamenti nelle dimensioni possono portare a casi di sovrapposizione tra elementi adiacenti.

L'obiettivo è allora quello di operare anche nel senso di un nuovo dislocamento degli elementi al fine di restituire chiarezza alla rappresentazione.

Regole ed Algoritmi di generalizzazione

Per rendere operativi i procedimenti su descritti, questi si debbono applicare ai diversi strati informativi delle cartografie di origine;

in particolare si pone l'attenzione su:

- derivazione curve di livello;
- generalizzazione dell'idrografia;
- generalizzazione dell'edificato;
- generalizzazione della viabilità;
- altri strati informativi.

Di seguito viene illustrata la procedura adottata per l'estrazione di curve di livello a 25m utilizzando come sorgente il db relativo alla CTR (carta tecnica regionale) della regione Sicilia e pertanto con curve di livello ogni 10m..

La generalizzazione degli altri strati informativi sarà oggetto di successivi rapporti scientifici.

Il Processo nella creazione del layer orografia 25db

Una volta confrontate le specifiche delle cartografie da derivare e di quelle di destinazione e selezionati i livelli necessari alla derivazione voluta si procede ad effettuare le operazioni necessarie per la restituzione dell'altimetria e degli oggetti concorrenti alla formazione del DTM da cui poi si genereranno le nuove curve di livello.

È necessaria la creazione di un modello digitale del terreno, utilizzando sia dati planimetrici sia dati altimetrici memorizzati nei files a disposizione.

Della planimetria vengono utilizzati gli oggetti della rete idrografica e le linee di riferimento delle scarpate.

Dell'altimetria vengono utilizzati i punti quota e degli oggetti particolari denominati "Break points" e "Break lines".

Algoritmo di trasformazione curve di livello con una equidistanza di 10m ad una equidistanza di 25m.

L'algoritmo sviluppato in *python* per Arcgis permette di concatenare in un'unica azione complessa tutte i singoli passaggi necessari per la trasformazione di una serie di curve di livello con equidistanza 10m in una serie di curve di livello con equidistanza 25m identificandone le direttrici.

Il punto di partenza sono curve di livello ogni 10m (fig.1) tratte dal database di una carta tecnica regionale alla scala 10.000; considerando tali curve unite al layer "punti quotati" si può realizzare un modello digitale del terreno con una risoluzione a terra di 5m (1 pixel=5x5m come l'errore di graficismo alla scala selezionata).

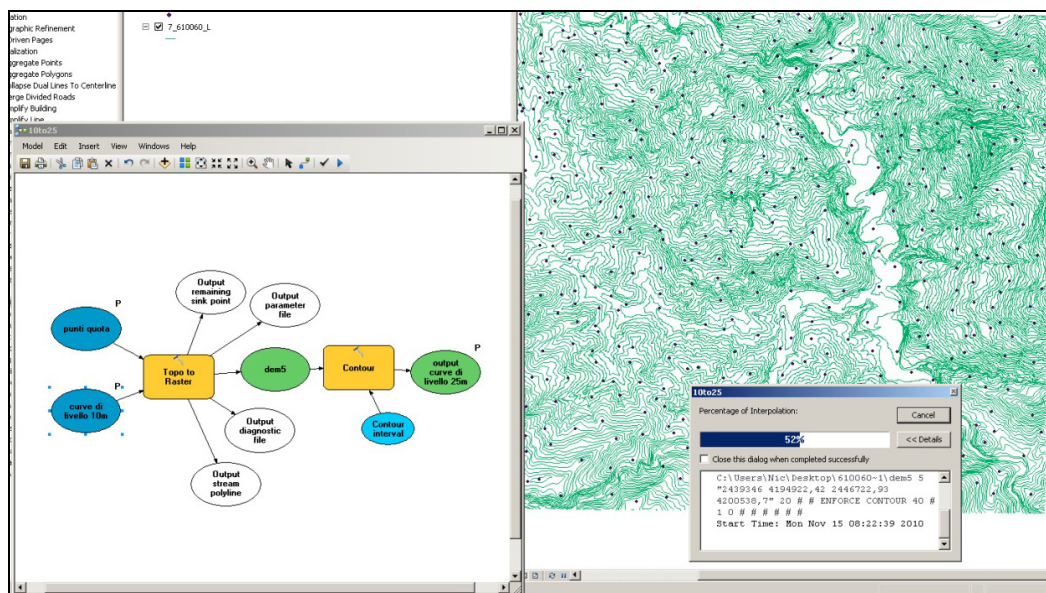


Figura 1 – Dati di partenza: Modello e curve di livello con equidistanza 10m senza break lines.

Da un DEM così generato si possono estrapolare le curve di livello con una equidistanza pari a 25m considerando tutti layers lineari (oltre le stesse curve di livello) come linee di discontinuità rappresentate da: strade, edifici, fiumi, ed altri elementi del territorio.

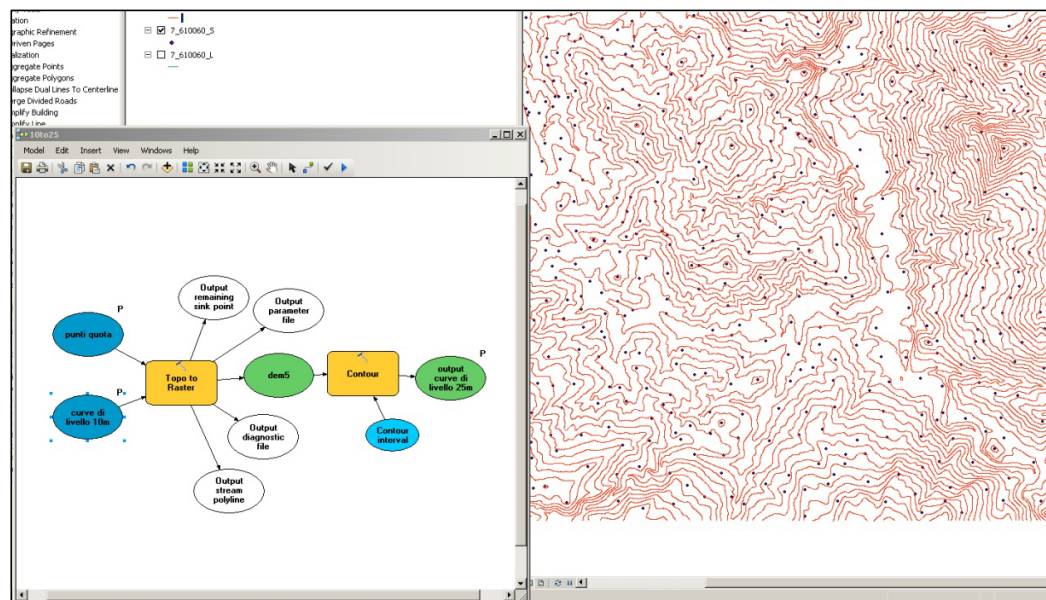


Figura 2 – Creazione dem ed estrazione curve con equidistanza 25m senza break lines.

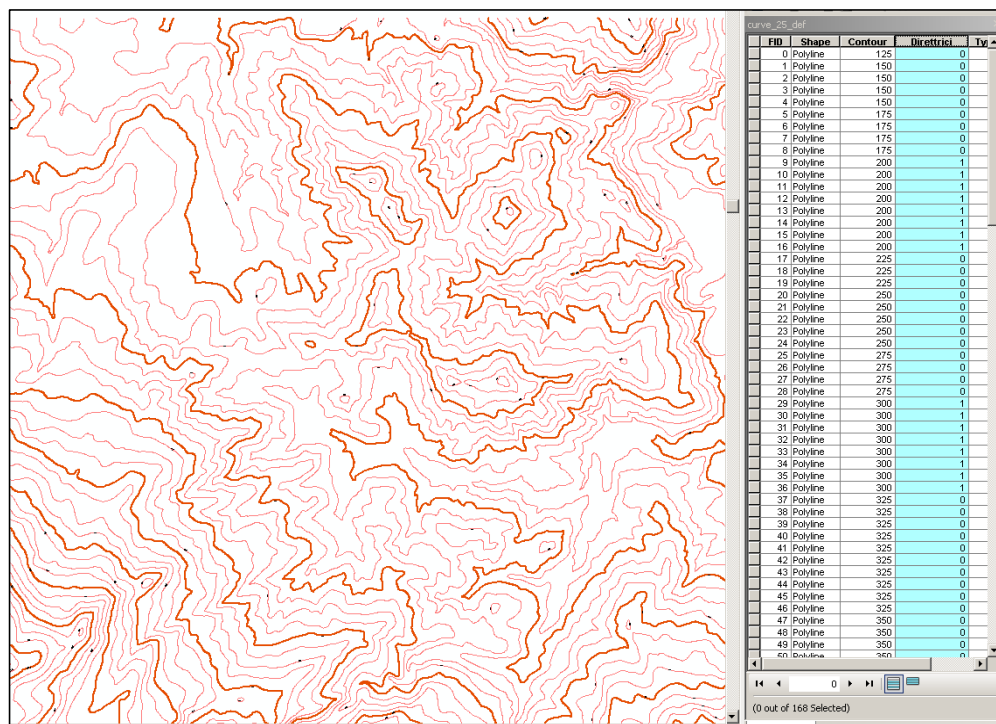


Figura 3 – Output curve di livello con equidistanza 25m generato con break lines (in azzurro l'identificativo direttici)

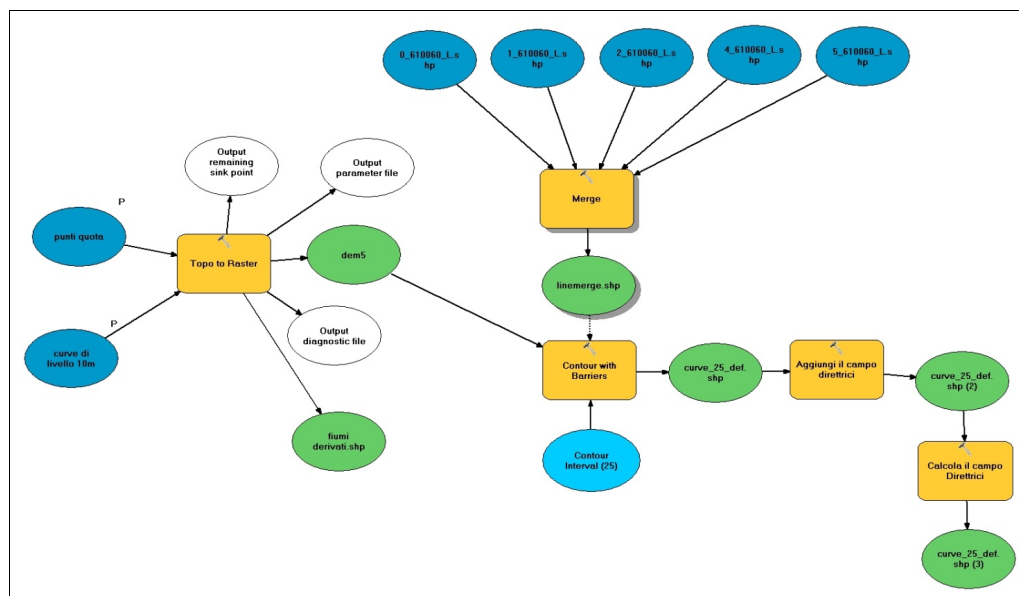


Figura 4 – Modello completo di creazione dem, curve ogni 25m con punti di discontinuità e break lines, campi db riferiti all'identificazione delle direttici.

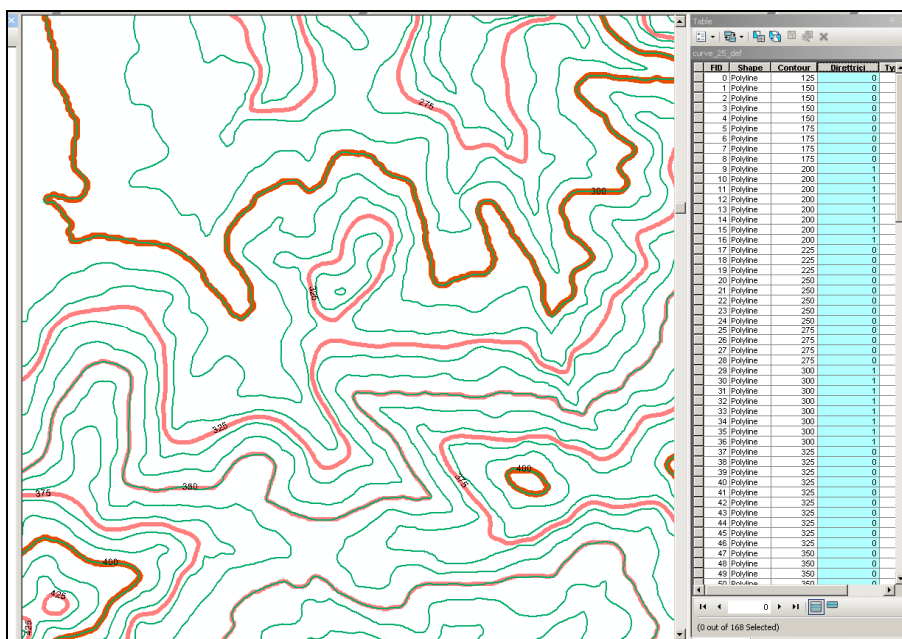


Figura 5 – Confronto curve di livello 10m(verdi) e 25m(rosse).

Un'ulteriore necessità è quella di identificare le curve di livello la cui quota risulta essere multipla di 100: "curve direttrici". A tale scopo viene creato nel database un campo apposito derivante da un piccolo algoritmo che individua le curve che rispondono a tale criterio ed assegna da esse l'identificativo "1". In questa maniera, in fase di vestizione del layer curve di livello 25 vengono direttamente identificate quelle che sono le direttrici.

I risultati delle elaborazioni sulla base della procedura qui descritta sono riportati nelle figure 3 e 5.

Conclusioni

I risultati ottenuti nella derivazione alla scala 1:25.000 si sono rivelati nel complesso apprezzabili, vengono rispettate le tolleranze planimetriche previste per quella scala e viene mantenuta la densità originaria degli oggetti rappresentati. Anche dal punto di vista semantico permangono tutte le caratteristiche di rilevanza per la scala derivata consentendo, oltre ad una buona leggibilità, anche una facile lettura del territorio da essa rappresentato.

I dati ottenuti pertanto sono soddisfacenti ma in ogni caso non ancora tali da non permettere di raffrontare la carta derivata con metodologia semi-automatica quelle derivate con metodologie manuali e/o interattive. La qualità globale della derivazione ottenuta si mantiene entro limiti accettabili nel passare dalla scala 1:10.000 fino a quella 1:25.000.

L'informazione geometrica contenuta nei dati cartografici appare sufficiente a guidare il processo nelle derivazioni verso carte a grande e media scala nelle quali la rappresentazione è prevalentemente metrica.

Nelle derivazioni a piccola scala, i processi di selezione e classificazione semantica diventano sempre più marcati, in quanto la rappresentazione diventa, spesso, simbolica mentre gli oggetti vengono conservati in relazione all'importanza che la loro presenza assume per gli scopi della carta. Si manifesta quindi l'esigenza di aumentare la quantità di informazione semantica contenuta nella base dati originaria modificandone la tipologia e la struttura onde consentire la definizione delle relazioni tra le diverse entità, nonché gli ambiti omogenei nei quali intervenire con le operazioni di derivazione.

Mentre la carta numerica a grande scala, che contiene l'informazione geometrica a maggior grado di definizione, può venire generalizzata verso scale più piccole e, quindi, verso livelli di dettaglio decrescenti, la base dati associata deve essere realizzata direttamente secondo una logica multiscala. Questo aspetto rappresenta la prossima sfida nell'ambito delle operazioni di generalizzazione automatica; inoltre è in linea con le scelte operate in seno al gruppo di lavoro WG01 dell'Intesa GIS, al fine di permettere il passaggio verso una configurazione a database unico, a partire da informazioni territoriali e ambientali a grande scala verso tutte le scale inferiori. Nonostante tutte le ricerche e i risultati raggiunti, non è ancora in vista la possibilità di una soluzione completa al problema della generalizzazione automatica. Per quanto facilitato dagli strumenti sviluppati, il processo di generalizzazione richiede tuttora l'intervento manuale del cartografo. I modelli e i processi di generalizzazione esistenti sono in grado di risolvere localmente problemi specifici.

Potrebbe essere interessante puntare ad un sistema integrato.

Sicuramente non siamo ad uno stadio risolutivo del problema derivazione ma continuiamo una ricerca volta a creare un processo di derivazione cartografica FULL- AUTOMATED.

Riferimenti bibliografici

- ARTHUR H. ROBINSON & ALTRI (1995), Elements of cartography, J. Wiley & Sons
- BIANCHIN A., MARTINUCCI D. (2003), Generalizzazione cartografica: stato dell'arte, Atti VII Conferenza Nazionale ASITA, Verona
- CUÉNIN R. (1972), Cartographie générale, Eyrolles, Paris
- Documenti interni I.G.M. sull'esperienza di Monselice (2001), Firenze
- Documenti interni I.G.M. sull'esperienza di Gattinara (2008), Firenze
- ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE (2004), Collezione dei Testi Tecnici, Norme e segni convenzionali per la realizzazione dei fogli della Carta d'Italia alla scala 1:50000, Firenze
- Specifiche I.G.M. di derivazione del DB25 da geoDRN (2009), Firenze
- UNIVERSITÀ DI PADOVA (2007), Secondo rapporto Progetto CARGEN: proposte per il modello dei dati del DB25, Padova
- M. Galanda (2003), Automated polygon generalization in a Multi Agent System, Ph.D. Tesi Università di Zurigo
- Bard S., (2003), Evaluation of generalization quality, V Workshop on Progress in Automated Map Generalization, Paris 28 – 30 April 2003
- Falchi E. et al., (2002), La derivazione cartografica in ambiente GIS della CTR numerica della Regione Autonoma della Sardegna alla scala 1:5.0000, Atti della V Conferenza Nazionale ASITA, Perugia 2002, Vol. II: 775-780
- Reichenbacher T. (2001), The world in your pocket- towards a mobile cartography, in Proceedings SVG Open 2002, Zurigo
- Ruas A. (2001), Automatic Generalisation Project: Learning Process from Interactive Generalisation, OEEPE Official Publication N. 39
- ESRI (2000), Map Generalization in GIS: Practical Solutions with Workstation ArcInfo Software, Technical Papers section of ArcOnline at <http://arconline.esri.com>
- Falchi E. et al., (2000), Trattamento della CTR numerica della Regione Sardegna per la organizzazione dei dati geografici nel SIT, Atti della 4a Conferenza Nazionale ASITA, Genova 2000, Vol. II: 775-780
- Peter B., Weibel R. (1999), Using vector and raster-based techniques in categorical map generalization, 3rd ICA Workshop on Progress in Automated Map Generalization, Ottawa 1999
- Müller J. C. et al., (1995) GIS and Generalization: Methodology and Practice, Taylor & Francis, London
- Morrison J.L. (1994), The paradigm shift in cartography: the use of electronic technology, digital spatial data, and future needs, in Proceedings 6th International Symposium on Spatial data Handling, Edimburgo
- Documenti di Specifica di contenuto dell'IntesaGis, 1n1007, CNIPA (2010), edizioni Pallino, Roma, 55-69

Utilizzo di supporti cartografici georiferiti per il monitoraggio di beni culturali: un progetto per l' area aquilana

Aldo Nolli (*), Massimo Pennacchioni (*) (**)

(*) Centro Informazioni Geotopografiche Aeronautiche (CIGA), Via Pratica di Mare 45, 00040 Pomezia (RM)

(**) Dip. Studi Storico Artistici e sulla Conservazione, Università Roma Tre, P.za della Repubblica 10, 00185 Roma
Tel. 0691293742, Fax 069108149, e-mail: aldo.nolli@aeronautica.difesa.it; massimo.pennacchioni@persociv.difesa.it

Riassunto

Le profonde modifiche conseguenti il sisma del 6 aprile 2009, hanno evidenziato situazioni a rischio per le aree archeologiche, alcune delle quali rivelate recentemente dalle foto aeree e non visibili da terra. Lo scopo del presente studio è di fornire uno strumento in ambiente *GIS* per la verifica delle informazioni archeologiche del territorio dell'Aquila. Il lavoro è consistito nell'acquisizione presso il Centro Informazioni Geotopografiche Aeronautiche (CIGA) dei fotogrammi dei voli del 2009 ricadenti nei territori del comune di L'Aquila. Attraverso l'uso di specifici software le immagini sono state ortorettificate ed inquadrare nella CTRN alla scala 1:5.000. Su questa base è stata costruita la classe "Presenze archeologiche" che risponde allo scopo dello studio.

Abstract

The aim of this study is to provide a support tool in order to verify the archaeological information falling in the neighbourhood of L'Aquila town (Abruzzo region). This work consisted in the acquisition of the aerial photos of the 2009 flight made by the Centro Informazioni Geotopografiche Aeronautiche (CIGA). Through the use of specific software the images have been orthorectified and then aggregated using technical regional map (CTRN 1:5.000). On this base has been built the "Archaeological unit" class.

Introduzione

Tra le emergenze conseguenti il sisma che ha colpito la conca aquilana il 6 aprile 2009, quella più immediata, ma nello stesso tempo delicata per le possibili conseguenze sull'ambiente ed il patrimonio culturale, è stata l'individuazione dei territori da destinare alla costruzione di villaggi temporanei per la popolazione rimasta senza casa; la scelta delle aree destinate a questo scopo doveva avere come requisito la prossimità ai centri abitati colpiti, essere servita da vie di comunicazione, essere posta su aree pianeggianti (vallate, terrazze fluviali) geologicamente stabili. In via preventiva, la Protezione Civile avviò una ricerca in collaborazione con la Soprintendenza Archeologica d'Abruzzo per appurare la presenza in queste località di vincoli archeologici.

In questa circostanza ci si rese conto dell'importanza di una banca dati geospaziale non solo relativa alle aree conosciute ma ancor più ai territori sospettati di contenere presenze archeologiche in base alle fotografie aeree, alle ricognizioni di superficie o, in mancanza di dati diretti, perché di importanza strategica giacché interessati dalla presenza di fonti d'acqua, di assi viari antichi o su posizioni naturalmente fortificate.

Queste ultime supposizioni di presenze antiche trovarono conferma, proprio in quegli anni, in occasione dei lavori di allargamento della SS n. 17 sugli altipiani di Caporciano e Navelli ove furono rinvenute cospicue testimonianze di necropoli, abitati preistorici e di età romana.

Il progetto

Il progetto "Elaborazione di dati cartografici del territorio dell'Aquila" avviato nel 2010 dal CIGA in collaborazione con il Ministero per i Beni e le Attività Culturali, Direzione Generale per i Beni Culturali e Paesaggistici dell'Abruzzo, prevede l'elaborazione in ambiente *GIS* di un supporto cartografico dai dati attualmente disponibili e dalle verifiche sul territorio, con indicate le aree archeologiche visibili e individuate, soggette o da assoggettare a tutela.

Un aspetto importante di questa collaborazione riguarda l'ampia fonte di dati "storici": il CIGA detiene la copertura aerofotografica d'archivio del territorio aquilano del 1986 e quella più recente effettuata in emergenza a copertura del territorio interessato dal sisma nel 2009 dalle quali è possibile evidenziare le anomalie che potrebbero indicare azioni antropiche di vario genere ed età (assi viari, necropoli e/o abitati di età compresa tra il Neolitico ed il Medioevo).

L'opportunità di riutilizzare questi dati in pratica a costo zero è evidente qualora si consideri l'utilità di produrre un bene di interesse pubblico che abbia un valore aggiunto e che esalti una economia di gestione delle risorse che all'interno delle Amministrazioni spesso è trascurata.

I rilievi aerofotogrammetrici

Per l'area oggetto del presente studio, su un totale di 1396 fotogrammi, sono stati utilizzati i fotogrammi n°1906, 1907 e 1908 della strisciata n°4 ed i fotogrammi n°1925, 1926 e 1927 della strisciata n°5, con scala compresa tra 1:11.000 e 1:15.000, del rullo 11/09 relativo al volo del 25 maggio 2009.

Le foto sono state acquisite con macchina WILD RC 30 dotata di obiettivo 15/4 UAGA-F e focale 152,83 mm montata sul velivolo P-166 DL3 del 71° Gruppo Volo di Pratica di Mare. Dopo lo sviluppo, i negativi sono stati rasterizzati mediante scanner fotogrammetrico Zeiss Photoscan TD con dimensione del pixel di 14 micron ottenendo una risoluzione a terra compresa tra i 15 e i 20 cm. Tutte le strisciate sono state archiviate sia nel formato nativo sia dopo il ricampionamento a 600 *dpi* ed una georeferenziazione di massima per permetterne la rapida consultazione.

I dati archeologici

L'elenco dei siti attualmente conosciuti è in parte cartaceo sotto forma di schede, in parte informatizzato su un *db Access*, dove le indicazioni geografiche sono desunte dalle tavolette 1:25.000 dell'IGM. Questo materiale è stato fornito dalla Soprintendenza Archeologica ma è ancor lungi dall'essere completo sia per quanto riguarda l'esatta posizione geografica sia per l'attribuzione cronologica e culturale trattandosi, per la maggior parte, di segnalazioni o indicazioni di cultori ed appassionati locali a volte non corredate da disegni, fotografie o altre annotazioni che ne permettano una precisa collocazione spaziale e temporale.

Ulteriori informazioni provengono dalle pubblicazioni di settore dove, in maniera più o meno rigorosa, le aree di interesse archeologico sono riportate su cartografia non specificata spesso ottenuta ricalcando vecchie tavolette IGM o, nel migliore dei casi, utilizzando mappe catastali.

Un altro flusso di dati proviene dalle recenti campagne di scavo e ricerca, in particolare quelle portate a termine nel corso degli ultimi anni rispettivamente nelle necropoli italiche site nei territori del comune di Capestrano, Caporciano e Fossa e nelle aree di abitato di Cinturelli e Monte di Cerro. Questo risultato, frutto di una sinergia che vede in campo, sotto l'egida della Soprintendenza Archeologica, le Università di Chieti e Pescara, l'Università degli studi Roma Tre, l'Università di Amiens, l'Università di Torino Venaria Reale, l'Università Orientale di Napoli, ha dato la possibilità di posizionare tramite GPS le strutture emerse e verificare l'estensione areale al fine di esercitarne la tutela.

Con i dati in possesso, provenienti da fonti diverse, si sta strutturando un sistema informativo geografico dove, alla cartografia di base, potranno essere agevolmente aggiunte le nuove informazioni desunte dai sorvoli con riprese, dalle segnalazioni e dalle ricerche programmate.

Attraverso questo strumento la Soprintendenza è in grado di consultare i dati ed esprimere i pareri di fattibilità su eventuali opere da espletare sul territorio.

Il flusso di lavoro

Presso il CIGA il lavoro è stato suddiviso in due fasi: nella prima, è stata effettuata la produzione dell'ortofoto b/n digitale e nella seconda l'impostazione di un *Geoworkspace* in ambiente *GIS* per rendere efficace l'*overlay* e l'analisi dei dati raccolti.

I 6 fotogrammi scelti sono stati elaborati, sfruttando il certificato di calibrazione della macchina da presa, al fine di ottenere 4 coppie stereoscopiche con un orientamento interno effettuato attraverso le marche fiduciali ed un orientamento relativo per eliminarne la parallasse. Successivamente, avendo collegato le coppie tra loro, sono stati scelti i punti noti, in coordinate XYZ, UTM33 Datum *WGS84*, con i quali eseguire l'aerotriangolazione e la generazione in automatico di un DTM, inizialmente con passo 10 m che, eventualmente, può essere portato a 5 m.

Con l'ausilio di SW commerciali, è stato possibile impostare il *Geoworkspace* in *Geographic (Lat/Lon "noprojection")* e Datum orizzontale *WGS84*, in accordo con eventuali *output*, dove è stata caricata l'ortofoto, elaborata in precedenza, alla quale sono stati sovrapposti i dati vettoriali della carta tecnica della regione Abruzzo in formato *.dwg / .dxf*, scala 1:5.000, in proiezione Gauss-Boaga Fuso Est e Datum orizzontale Roma 40 di recente realizzazione con i quali è stato possibile georeferenziare il dato raster dei rilievi della necropoli in formato *.tif* acquisito a 600 *dpi*.

Nella CTRN, fornita dalla Soprintendenza Archeologica d'Abruzzo in base agli accordi con il CIGA, i codici della decodifica sono raggruppati nelle seguenti 9 classi, ripartite in 244 sottoclassi:

- Orografia;
- Idrografia;
- Vegetazione;
- Edifici, costruzioni e attrezzature;
- Viabilità e ferrovie;
- Reti tecnologiche e impianti di servizio;
- Elementi divisorii del terreno;
- Limiti amministrativi;
- Punti noti e derivati.

Le nove classi della carta sono attivabili secondo le necessità di visualizzazione e analisi.

In aggiunta, è stata creata una nuova classe, la decima, attingendo ai dati archeologici in nostro possesso che rappresenta il tematismo principale "Presenze archeologiche" (Tab. 1).

Codice	Scheda	Denominazione della sottoclasse (particolare cartografico)
10310		TOMBA DI ETA' PREROMANA-ROMANA, ISOLATA (punto)
10311		NECROPOLI DI ETA' PREROMANA-ROMANA (area)
10320		RUDERE ISOLATO (punto)
10321		TRATTO DI MURO ROMANO, MEDIOEVALE (linea)
10330		RESTI PALEOLITICI (punto)
10331		AREA DI COCCIAME PREISTORICO (area)
10332		AREA DI VILLAGGIO PREROMANO e ROMANO (area)
10333		CITTA' ROMANA (area)
10334		BORGO, CITTA' MEDIOEVALE (area)
10335		CASTELLO, FORTE (area)
10340		LUOGO DI CULTO PAGANO (punto)
10341		ABBAZIA, CHIESA CRISTIANA (area, punto)
10350		TRATTO DI STRADA ROMANO PAVIMENTATO (linea)
10351		TRATTURO (linea)

Tabella 1 – La classe 10 "Presenze archeologiche" con la suddivisione, provvisoria, in sottoclassi.

Ciò si è reso necessario poiché nella CTR di partenza i resti archeologici sono genericamente raggruppati nella classe “Edifici, Costruzioni e attrezzature” con il codice della sottoclasse 4315 (RESTO ARCHEOLOGICO) e ancor più genericamente con il codice 4117 (MONUMENTO) e 4201 (RUDERE), senza alcuna indicazione di età (preistorica, preromana, romana, medioevale) e di tipo (tomba, necropoli, villaggio, presenza sporadica, castello, luogo di culto).

Nella decima classe, invece, le sottoclassi riguardano la tipologia delle presenze e la loro collocazione temporale. In via ancora provvisoria, che diverrà definitiva dopo il confronto con le esigenze della Soprintendenza, la tipologia è stata suddivisa in presenze sporadiche, costruzioni isolate, abitati, forti/castelli, necropoli, singole tombe, luoghi di culto pagani, luoghi di culto cristiani mentre l’arco temporale è diviso in età preistorica, preromana, romana, medioevale.

Un esempio della nuova classe “Presenze archeologiche” è quella che presentiamo, in via sperimentale, relativamente all’area di Fossa (Fig. 1).

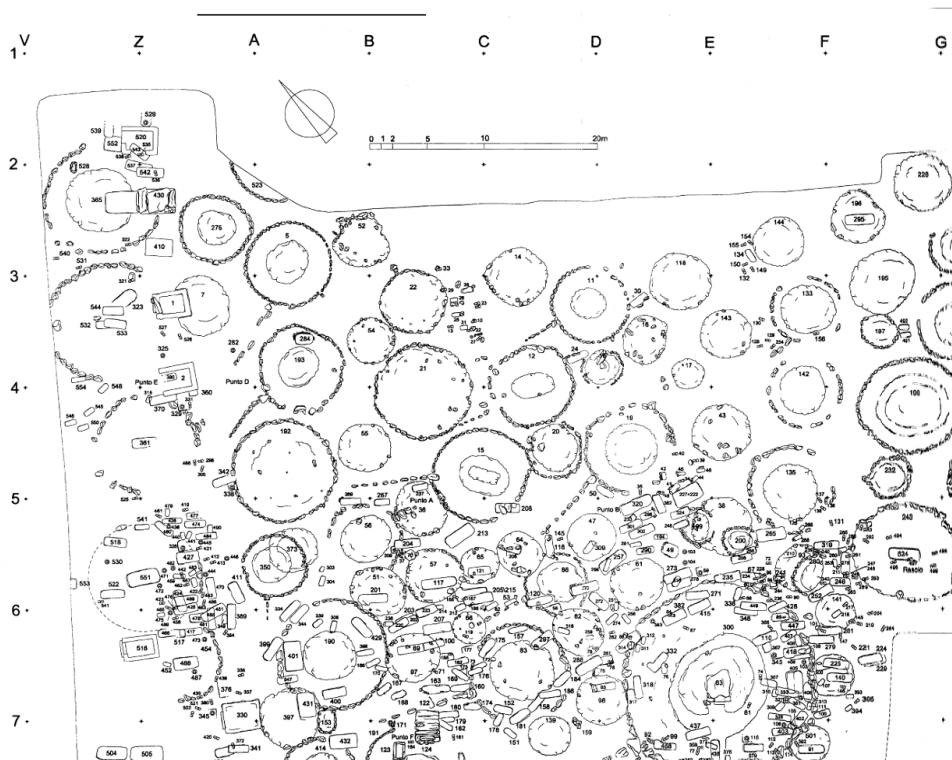


Figura 1 – Pianta dell’area necropolare di Fossa (da D’Ercole V., Benelli E., 2004) che rappresenta la sottoclasse denominata NECROPOLI DI ETÀ PREROMANA-ROMANA, cod. 10311.

Nell’area presa in esame si sono riscontrate le seguenti presenze archeologiche:

- una necropoli, molto vasta e ricca, scavata su un’area di oltre 10.000 mq (presumibilmente meno della metà del territorio realmente occupato dalle strutture funerarie) e con un arco temporale di utilizzo dall’Età del Ferro al periodo Ellenistico - Romano. La pianta della necropoli, in formato digitale, mediante punti visibili a terra è stata georeferenziata e sovrapposta all’ortofoto precedentemente posta come sfondo della CTR (Fig. 2).



Figura 2 – L'ortofoto con il rilievo archeologico georeferenziato.

- un insediamento, il più antico, da ricondurre alle popolazioni vestine, posto in posizione naturalmente difesa sulla sommità di Monte di Cerro, al di là del Fiume Aterno. Cinto da una poderosa muraglia lunga oltre un chilometro, ben visibile dalla foto aerea (Fig. 3), racchiude un'area di circa 50.000 mq. (codice 10332). La distanza tra necropoli ed abitato è, in linea retta, di circa 3 chilometri e dobbiamo immaginare che a Nord dell'abitato si snodasse la strada (codice 10350) che lo univa alla necropoli.



Figura 3 – Foto aerea del recinto fortificato di Monte di Cerro, antico insediamento vestino dell'area di Fossa.

- un abitato corrispondente alla città romana di *Aveia* (codice 10333), situato in pianura e contiguo alla città medioevale e moderna di Fossa: a questo centro sono da collegare tracce di assi stradali, tombe e strutture isolate (codice 10320) poste nelle vicinanze di quello si presume possa essere il perimetro della città (Fig. 4).
- aree con presenze archeologiche sparse (codice 10332): sulla scorta dei brani in cui Livio descrive la popolazione vestina, il territorio tra il IX ed il IV sec. a.C. doveva risultare costellato di dimore poste entro gli appezzamenti di cui la popolazione aveva l'onere dello sfruttamento. La rocca fortificata, invece, era utilizzata in caso di pericolo: tanto è che, all'irrompere delle armate romane che saccheggiano e distruggono le indifese strutture produttive, i vestini sono costretti allo scontro frontale, fatale per loro, e non ad una guerra di posizione dall'alto delle ben munite difese. Queste presenze sono state rilevate in numerosi punti della pianura in particolare a Nord della necropoli di Fossa.
- presenze di età preistorica: estremamente disperse su un territorio molto vasto vi sono aree di cocciame (codice 10331) riconducibili ad insediamenti, più raramente a tombe (codice 10310). Uno dei centri principali è probabilmente colle Restoppia, vicino alla necropoli di Fossa.
- presenze di età medioevale con due castelli, Monte di Cerro ed Ocre (codice 10335), un borgo (codice 10334, Fossa) e numerosi luoghi di culto cristiani (codice 10341).

Una volta restituite (Fig. 4), queste presenze concorrono a formare un tessuto storico, artistico ed archeologico su cui programmare la tutela.

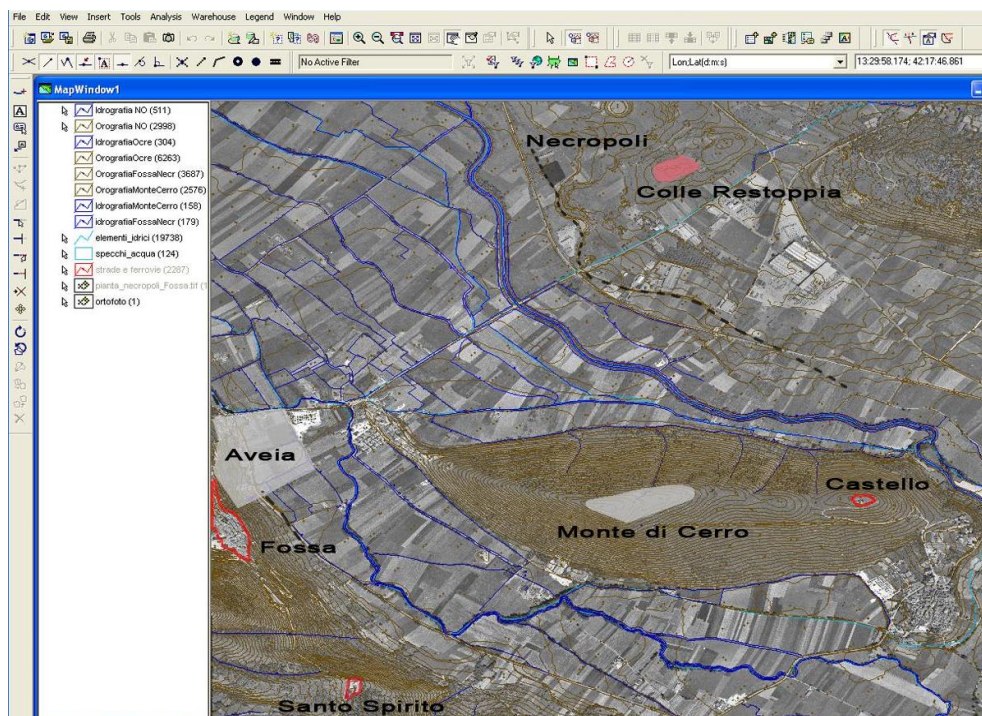


Figura 4 – Stralcio dell'ortofotocarta del territorio di Fossa con gli strati contenenti l'orografia, l'idrografia e le aree archeologiche.

I risvolti scientifici

Oltre alle prospettive di ordine amministrativo, la carta tematica così ottenuta è utilizzabile per lo studio del territorio; per fare un esempio, riguardo al popolamento vestino tra IX e IV sec. a.C., sarà possibile suddividere l'area presumibilmente pertinente ai singoli abitati individuati nelle sue componenti: abitativa, sepolcrale, seminativa e a pascolo, individuando le percentuali di utilizzo, il grado di organizzazione e la sua importanza nel tessuto geografico circostante.

Come noto, le tecniche di analisi spaziale, che ci possono aiutare a definire le forme di dominanza territoriale (i "paesaggi di potere"), si sono avvalsi fino ad ora di modelli geometrici e/o matematici (poligoni di Thiessen, Central Place Theory, X-tent model ecc.) ma non del modello geografico multistrato che offre enormi potenzialità in termini di analisi ed elaborazione di una grande quantità di dati di diversa origine.

Correlando gli strati tematici dell'idrografia e dell'orografia è possibile avere una visione dell'aspetto fisico del territorio dal quale si possono individuare con più facilità le aree sfruttabili per uso agricolo, le aree naturalmente fortificate e le aree con riserve idriche che in qualche modo hanno favorito lo stanziamento umano pre-protostorico.

Partendo dal concetto che la dimensione di un gruppo umano è legata proporzionalmente alle risorse del territorio e all'organizzazione sociale, si vuole vedere nella scelta di un'area il significato di un'esigenza di aggregazione con valenza difensiva, culturale, di controllo di risorse, confini, persone ed attività. Alcuni centri si sono affermati su altri (archeologicamente individuabili per estensione del villaggio, per la ricchezza desunta dai corredi della necropoli e conseguentemente per una popolazione maggiore) e si suppone abbiano avuto il controllo di un territorio più vasto.

L'individuazione di questi "centri egemoni" riveste in ambito storico un'importanza notevole: per la zona aquilana si pensi che, al momento, non sono ancora stati individuati i due principali centri d'altura dei vestini (citati da Livio, con i nomi di *Cutina* e *Cingilia*) distrutti dai Romani con la guerra del 325 a.C..

In queste analisi l'immissione di ogni più piccola o apparentemente insignificante segnalazione di presenza archeologica può avere un significato decisivo.

Il territorio conserva ancora, sconosciuti ed inesplorati, numerosi punti di interesse: della stessa città romana di *Aveia* non si conosce l'estensione ma solo la localizzazione, poiché gli scavi hanno scoperto solo brevi tratti di mura e pochi indizi sulle vie di comunicazione e sulle necropoli, che dovevano essere numerose e vaste.

La collaborazione tra diverse competenze, così come è stata avviata, contribuirà senza dubbio ad una efficace opera di conoscenza, studio e salvaguardia del territorio.

Bibliografia

- Cosentino S., D'Ercole V., Mieli G. (2001), "*La necropoli di Fossa*", vol. I, Edizioni CARSA, Pescara.
- D'Ercole V., Copersino M.R. (2003), "*La necropoli di Fossa*", vol. IV, Edizioni CARSA, Pescara.
- D'Ercole V., Benelli E. (2004), "*La necropoli di Fossa*", vol. II, Edizioni CARSA, Pescara.
- Guidi A. (2000), "*Preistoria della complessità sociale*", edizioni Laterza, Roma.
- La Torre F.G. (1984), "L'alta valle dell'Aterno in età Romana", *Rassegna di studi sul territorio*, 6.
- Mattiocco E. (1986), "*Centri fortificati vestini*", Sulmona, 1986.

Valutazione del prodotto satellitare DMP tramite misure in situ di produzione di biomassa nelle aree di savana saheliane

Francesco Nutini (*,**), Mirco Boschetti (*), Daniela Stroppiana (*),
Pietro Alessandro Brivio (*), Etienne Bartholomè (***), Gora Beyè (****)

(*) Consiglio Nazionale delle Ricerche-IREA, Via Bassini 15, 20133 Milano, +390223699297

boschetti.m@irea.cnr.it, stroppiana.d@irea.cnr.it, brivio.pa@irea.cnr.it

(**) Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Produzione Vegetale

Via Celoria 2, 20133 Milano, nutini.f@irea.cnr.it

(***) JRC-EC, Global Environmental Monitoring, Via E. Fermi 1, Ispra, Varese

etienne.bartholome@jrc.ec.europa.eu

(****) Centre de Suivi Ecologique, Dakar, Senegal

Riassunto

La presente ricerca ha lo scopo di valutare la qualità del prodotto satellitare *Dry Matter Productivity* (DMP), una stima spazializzata della produzione di biomassa vegetale ottenuta da dati remoti. Il prodotto DMP è basato sul modello di Monteith e combina immagini da satellite con dati meteorologici al fine di ottenere stime della produttività della vegetazione terrestre. Questo tipo di prodotto costituisce un dato quantitativo fondamentale per il monitoraggio delle zone pascolive della savana soprattutto in una regione come quella del Sahel caratterizzata da una cronica insicurezza alimentare e da una produzione delle risorse naturali fortemente dipendente dalle condizioni climatiche.

Il lavoro è stato condotto nell'ambito del progetto EU FP7 Geoland2, come contributo ai partner di ECOWAS (Economic Community Of West African States) del programma AMESD (African Monitoring of the Environment for Sustainable Development). La valutazione del DMP è stata svolta grazie ad una comparazione con dati di campo di produzione biomassa messi a disposizione dal Centre Suivi Ecologique di Dakar, Senegal, e dalla ONG ACF (Action Contre la Faim). I dati a terra forniscono una serie di misurazioni annuali tra il 2005 ed il 2009 in 33 siti nella regione di Matam (Senegal), e tra il 1998 ed il 2009 su 92 siti nelle zone pascolive del Niger.

L'articolo analizza la correlazione tra le stime DMP e la biomassa campionata misurata a terra, esaminando le differenze dell'andamento del prodotto satellitare tra i differenti siti di campionamento. E' inoltre presentata l'analisi dell'influenza delle piogge e della copertura del suolo sulla produzione di biomassa con lo scopo di individuare parametri significativi nel descrivere la variabilità della stima di biomassa.

Abstract

The Sahelian belt of West Africa is a region characterized by wide climate variations, which can in turn affect the survival of local populations especially in rangeland, as happened during the dramatic food crisis in the 70-80s caused by severe drought. This work has been carried out in the framework of the EU FP7 Geoland2 project as a contribution to the ECOWAS component (Economic Community Of West African States) of the AMESD (African Monitoring of the Environment for Sustainable Development) programme with the purpose of establishing the reliability of Dry Matter Productivity (DMP) developed by Flemish Institute for Technological Research (VITO), a spatial estimation of dry matter (DM) obtained from remotely sensed data. DMP can be of great help in monitoring savanna pasturelands in a region characterized by food insecurity and a significant variability of biomass production, linked to climate variations, which

can in turn affect the survival of local populations. The evaluation of DMP was carried out thanks to the Centre de Suivi Ecologique (CSE) and Action Contre la Fame (ACF), the partners who provided the field biomass measurements. The paper shows the correlation of DMP with field measurements of herbaceous biomass, and discusses the differences among the different sites where ground data were collected. Finally the analysis of eco-climatic variables related to biomass production (rainfall, land cover) allow to identify significant parameter that could describe the variability of biomass estimation.

Introduzione

La regione saheliana è stata interessata da un periodo di siccità cronica, dagli anni '60 fino alla fine degli anni '80, che ha provocato una diffusa crisi alimentare aggravata da condizioni geopolitiche particolarmente instabili. Queste problematiche hanno stimolato l'interesse scientifico verso l'identificazione dei fattori climatici e/o antropici come causa della siccità e nella valutazione dei suoi effetti (Herrmann e Anyamba, 2005). Riguardo alla cause scatenanti della siccità i lavori più recenti hanno dimostrato che esiste una forte correlazione tra le anomalie pluviometriche nell'Africa occidentale e le temperature anomale dell'oceano atlantico, fenomeno analogo a "El Niño" (Nicholson and Grist, 2001, Giannini et al., 2003).

La grave siccità ha portato a classificare il Sahel come di un'area soggetta ad una "desertificazione irreversibile e progressiva" (Lamprey et al., 1988), sebbene studi più recenti, basati su dati satellitari, dimostrino che dalla metà degli anni 80' vi è stato un incremento dello sviluppo vegetazionale correlato ad un aumento delle piogge (Herrmann e Anyamba, 2005; Heumann et al., 2007). Questo fenomeno, comunemente indicato come *regreening* è stato interpretato come una ripresa dalla grande siccità del Sahel del secolo scorso (Anyamba e Tucker, 2005; Gianini et al., 2008; Olsson et al., 2005).

Nonostante questa ripresa permangono problematiche legate alla sicurezza alimentare e le conseguenti crisi umanitarie, che mantengono il sistema Sahel al centro di numerose iniziative internazionali. Infatti, come affermato da Hein et al. (2011), sono necessari ed urgenti dei programmi di monitoraggio delle risorse naturali che sappiano integrare i dati telerilevati con i dati in situ.

In questo contesto l'articolo mostra una valutazione del prodotto *Dry Matter Productivity*, una stima della biomassa vegetale basata su dati remoti, sfruttando dei dataset di produzione pascoliva raccolti in due diverse aree del Sahel. Il confronto tra i dati stimati e misurati nelle due aree test vuole contribuire all'identificazione del DMP come prodotto satellitare di supporto al monitoraggio delle risorse pascolive nella regione.

Materiali e metodi

Il Sahel è una zona di transizione eco-climatica tra il Sahara e le foreste tropicali sub-umide, secondo un gradiente nord-sud determinato dalle precipitazioni annuali. Il clima del Sahel è caratterizzato da una forte stagionalità delle precipitazioni, con una lunga stagione secca in inverno e un breve periodo delle piogge durante l'estate. Di conseguenza, la produzione di biomassa pascoliva è possibile solo durante la breve ed instabile stagione piovosa. Nel Sahel la maggior parte della popolazione vive in zone con piovosità superiore a circa 300 mm all'anno, al di sotto dei quali non è possibile sostenere un'agricoltura di sussistenza (Huber et al., 2011). Anche ove questa agricoltura è possibile, l'imprevedibilità delle precipitazioni, che variano del 30% da un anno all'altro (ECOWAS-SWAC, 2006), determina una condizione di permanente vulnerabilità alle crisi umanitarie e alla scarsità di derrate alimentari.

I dati satellitari sono particolarmente adatti per l'analisi dei fenomeni su larga scala come la produzione di biomassa e le variazioni climatiche del Sahel. In particolare, nel corso della ricerca sono state utilizzate serie temporali di dati satellitari riguardanti la stima della biomassa vegetale, la precipitazione e una mappa della copertura del suolo. Tutti questi dati sono stati resi disponibili dal progetto Geoland2-NARMA (*Natural Resource Monitoring in Africa*).

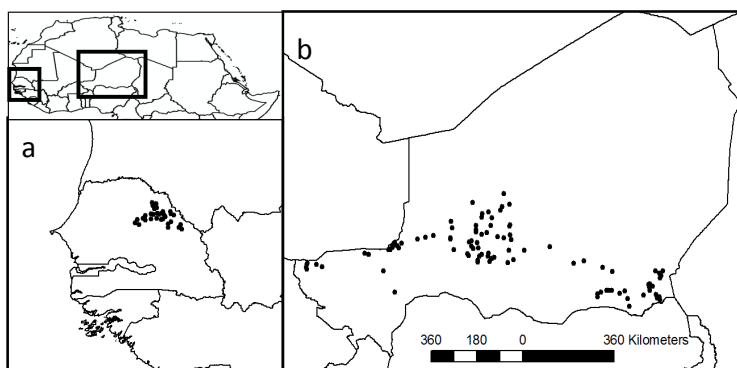


Figura 1 – Distribuzione dei siti di campionamento di biomassa in Senegal(a) e Niger(b).
Le immagini sono alla stessa scala.

I dataset di misure di campo di biomassa pascoliva [kg/ha] riguardano due aree test: una in Senegal e l'altra in Niger (Figura 1). Nella regione senegalese le piogge variano tra 200 mm a nord e 600 mm a sud (Sall, 2000), ed in particolare nella regione di Ferlo, che fa parte della medesima regione ecoclimatica delle zone in cui si trovano i siti di campionamento (Sala, 2011), le piogge sono comprese tra i 113 e i 321 mm all'anno (Tucker et al., 1985). Le misure di campo in Senegal sono state effettuate dal *Centre de Suivi Ecologique* (CSE) in un'area di 170 x 115 km dove 33 siti (Figura 1a) sono stati monitorati alla fine del periodo piovoso (Ottobre) tra il 2005 e il 2009. I dati di campo forniscono per ogni sito le produzioni annuali sia erbacee che arbustive/arboree in un'area di 1 km².

Senegal – Globcover	N. di siti (33)
- Closed to open (>15%) herbaceous vegetation (grassland, savannas or lichens/mosses)	4
- Mosaic cropland (50-70%) / vegetation (grassland/shrubland/forest) (20-50%)	4
- Mosaic vegetation (grassland/shrubland/forest) (50-70%) / cropland (20-50%)	14
- Rainfed herbaceous crops	11
Niger – Globcover	N. di siti (92)
- Bare areas	45
- Closed to open (>15%) herbaceous vegetation	45
- Mosaic forest or shrubland (50-70%) / grassland (20-50%)	2

Figura 2 – Classi di land cover per i siti di campionamento senegalesi e nigerini.

La mappa di copertura del suolo GlobCover, individua quest'area come caratterizzata da savana mista ad arbusti e colture non irrigue. In Niger la pluviometria è di soli 160 mm annui a nord (a parte nelle zone desertiche dove non piove affatto) mentre a sud cadono circa 600 mm/anno tra i mesi di luglio e settembre (Geesing e Djibo, 2001). I dati raccolti in Niger sono stati forniti da *Action Against Hunger* (ACF), un'organizzazione umanitaria internazionale impegnata nella lotta alla malnutrizione (<http://www.actionagainsthunger.org>). Queste misurazioni coprono un periodo di undici anni (1998-2009) su 92 siti (Figura 1b) distribuiti in un'area di 1300 km x 400 km dove il

pascolo è la più importante fonte di approvvigionamento alimentare. Le misurazioni non sono state effettuate con cadenza annuale per ogni sito, ma comunque sono disponibili in media 50 misure per ogni anno. La carta tematica Globcover indica che la gran parte dei siti sono caratterizzati da una copertura vegetale meno rigogliosa rispetto alle zone campionate in Senegal (Figura 2).

Serie temporali di dati satellitari: DMP e RFE

Il prodotto satellitare *Dry Matter Productivity* è basato sul modello sviluppato da Monteith nel 1972, secondo il quale la quantità di biomassa vegetale può essere stimata conoscendo la radiazione che viene assorbita dalle piante e applicando un modello moltiplicativo di fattori di conversione della radiazione in biomassa e fattori limitanti della crescita dovuti a sfavorevoli condizioni ecologiche.

Il modello di Monteith è stato implementato presso il *Flemish Institute for Technological Research* (VITO), in Belgio, con la collaborazione di altri istituti europei come il JRC (*Joint Research Centre*) e l'INRA (*National Institute for Agronomic Research*). Il DMP stima il tasso di crescita della biomassa secca ed è espresso in chilogrammi di sostanza secca (kg DM) per ettaro per giorno. I dati utilizzati e relativi al periodo tra il 1999 e il 2009 sono disponibili ad una risoluzione temporale decadale (10 giorni) e spaziale di 1 km. I dati sono stati forniti dal progetto Geoland2-NRMA (Combal et al., 2010).

I dati pluviometrici RFE (*RainFall Estimate*) sono stati forniti da *Famine Early Warning System Network* (FEWSNET) della *United States Agency for International Development* (USAID) e rappresentano delle stime da satellite che permettono di sopperire alla mancanza di informazioni a terra e forniscono una informazione indispensabile dato che nell'area saheliana la pioggia è il primario fattore limitante allo sviluppo vegetazionale (Huber et al., 2011).

I dati RFE sono disponibili ad una risoluzione spaziale di 8 km, che verrà ricampionata a 1 km, e risoluzione temporale di 10 giorni a partire dal 1996. Attualmente rappresentano il dataset pluviometrico più accurato per l'area di studio. L'algoritmo utilizzato per la stima pluviometrica è stato modificato nel 2001, ma le due serie di dati (prima e dopo il 2001) sono perfettamente comparabili come dimostrato da Haas (2010).

Infine è stata utilizzata un'informazione cartografica di copertura del suolo (GlobCover) ottenuta da dati telerilevati, acquisiti dal sensore *ENVISAT Medium Resolution Imaging Spectrometer* (MERIS) con una risoluzione spaziale di 300 metri (Arino et al., 2008).

Analisi dei dati

Dalle immagini satellitari sono state estratti i valori di DMP e RFE per delle aree di 2x2 pixel centrate sulle coordinate dei siti di campionamento. I dati di DMP decadal sono stati cumulati sul periodo di interesse per lo sviluppo dei pascoli (da Luglio ad Ottobre), anche se l'inizio e la fine della stagione possono variare leggermente da un anno all'altro (Anyamba e Tucker, 2005), ottenendo una stima della produzione di biomassa annuale (DMP_{JASO}) (Fensholt e Rasmussen, 2011; Fensholt et al., 2006; Seaquist et al., 2009) confrontabile con i dati di campo.

La seguente equazione restituisce il valore annuale del DMP espresso in kg/ha, comparabile con i dati di campo disponibili:

$$DMP_{JASO} = \sum_{i=1,12} \frac{10 * DMP_{10}(i)}{k} \quad (1)$$

Dove:

- JASO - è il periodo delle piogge tra luglio ed ottobre.
DMP₁₀ - è la stima decadale
12 - è il numero di decadi in un periodo JASO
 k - fattore di conversione (kg/ha) = 100

I dati di biomassa così ottenuti sono stati confrontati con la mappa di Globcover con lo scopo di individuare come le medie di DMP si distribuiscano nell'Africa Occidentale per classi di copertura vegetazionale.

Successivamente è stata condotta una analisi della correlazione tra i dati di campo ed i dati stimati con lo scopo di identificare l'accuratezza del DMP in Niger e Senegal, grazie a diversi indici statistici (Loague e Green, 1991) riassunti in Figura 3.

La radice dell'errore quadratico medio (RMSE) e il relativo RRMSE, forniscono informazioni sulla differenza assoluta e relativa tra le stime del modello e le misure a terra. Il Modeling Efficiency (EF) quantifica la capacità del modello di riprodurre l'andamento dei valori osservati ed il coefficiente di massa residua (CRM) quantifica la sovrastima (CRM <0) o la sottostima (CRM > 0) dell'output del modello.

E' stata condotta una analisi della covarianza (ANCOVA) per identificare se le variabili di copertura vegetale, variabilità annuale e piogge influenzino la regressione lineare tra dati di campo e satellitari. L'ANCOVA permette di introdurre nell'analisi dei dati delle variabili categoriche di particolare interesse che potrebbero contribuire a spiegare la varianza del modello di regressione.

Nome ed acronimo	Min	Max	Best
Root mean square error (RMSE)	0	$+\infty$	0
Relative Root mean square error (RRMSE)	0	$+\infty$	0
Modeling efficiency (EF)	$-\infty$	1	1
Coefficient of Residual Mass (CRM)	$-\infty$	$+\infty$	0
Coefficient of Determination (R^2)	0	1	1

Figura 3 – Indici statistici utilizzati per descrivere la corrispondenza tra i dati simulati e misurati.

Risultati e discussione

La Figura 4 mostra come sono distribuite le medie di DMP in Africa Occidentale per la finestra temporale interessata dalle misure di campo. Si nota che le medie seguono il tipico andamento nord-sud determinato dalle piogge, variando da 100 kg/ha per le zone di suolo nudo a oltre 10000 kg/ha per le foreste della Costa d'Avorio. La fascia saheliana di interesse per la nostra ricerca, che corre dal nord del Senegal sino al Darfur, mostra una stima della produzione media variabile tra valori vicino allo zero (aree marginali con un ecosistema desertico, colorazione chiara) a valori superiori a 4000 Kg/ha (colorazione blu-azzurra), tipici di savane arborate di confine tra la zona saheliana semi-arida e le regioni sudaniane dove l'approvvigionamento idrico non è più il maggiore fattore limitante allo sviluppo vegetazionale (Geesing, Djibo, 2001).

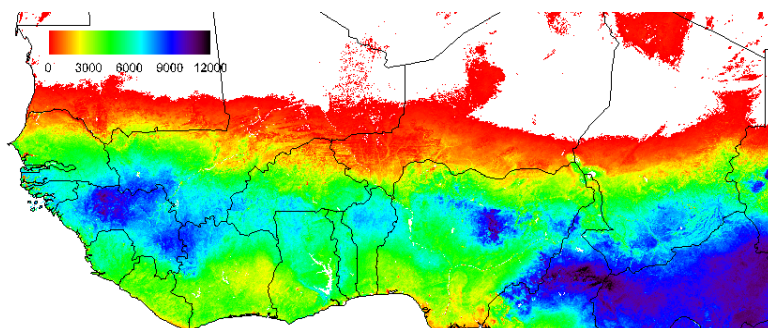


Figura 4 – Mappa della media di Dry Matter Productivity tra il 1999 e il 2009. In blu-azzurro i valori più elevati (>7000 kg/ha) in giallo-rosso i più bassi (<5000 kg/ha).

Per meglio interpretare e valutare la distribuzione del DMP in base alle caratteristiche vegetazionali e ecologiche di questa porzione d'Africa, è presentata la media di DMP per le classi di copertura del suolo del GlobCover (Figura 6). È possibile individuare quelle che sono i tipi di copertura vegetazionale caratteristici della fascia saheliana (*rainfed croplands*, *sparse vegetation*) con la tipica disposizione stratificata latitudinalmente dovuta alle precipitazioni annuali (figura 5). Le classi di copertura del suolo che formano la fascia saheliana hanno valori di DMP vicini ai dati riportati in letteratura per quelle aree mentre per le classi di copertura tendenzialmente più arborate e più settentrionali vi sono delle significative differenze rispetto ai valori attesi. In particolare le classi di GlobCover in corrispondenza delle foreste sempreverdi del Golfo di Guinea e della Liberia (*Closed* ($>40\%$) *broadleaved deciduous forest*) dove la presenza di biomassa vegetazionale è notevole, hanno valori di DMP vicini a quelli delle savane tropicali più settentrionali.

È possibile che l'influenza della copertura nuvolosa nell'area a ridosso del Golfo di Guinea, particolarmente persistente a quelle latitudini, non permetta di avere prodotti satellitari affidabili (Boschetti et al., 2008). Questo dato conferma che il monitoraggio per le risorse naturali in Africa occidentale trova più facile applicazione nelle regioni più settentrionali a ridosso del Sahara. Secondo le stime RFE, le precipitazioni medie in Senegal sono comprese tra i 350 e i 550 mm all'anno, un dato tipico per le zone della fascia saheliana più meridionale (Geesing, Djibo, 2001) mentre i dati pluviometrici nigerini presentano una maggiore variabilità a causa della maggiore estensione longitudinale dell'area di studio e variano da 200 mm a nord (l'apporto minimo per lo sviluppo pascolivo) e 550 mm a sud (limite superiore della steppa Sudaniana).

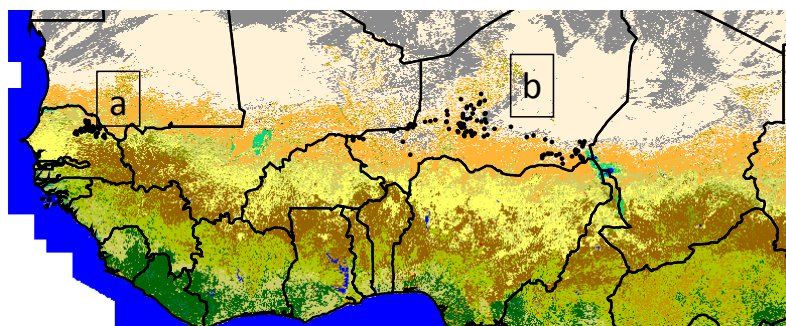


Figura 5 – Mappa di GlobCover dell'Africa occidentale. In nero figura l'ubicazione dei siti di misura senegalesi (a) e nigerini (b).

GC_code	Descrizione	DMP [kg/ha]
11	Post-flooding or irrigated croplands	4007
14	Rainfed croplands	2267
20	Mosaic cropland (50-70%) / vegetation (grassland/shrubland/forest) (20-50%)	5807
32	Mosaic vegetation (grassland/shrubland/forest) (50-70%) / cropland (20-50%)	4243
41	Closed to open (>15%) broadleaved evergreen or semi-deciduous forest (>5m)	5203
50	Closed (>40%) broadleaved deciduous forest (>5m)	2899
60	Open (15-40%) broadleaved deciduous forest/woodland (>5m)	7774
70	Closed (>40%) needleleaved evergreen forest (>5m)	3990
110	Mosaic forest or shrubland (50-70%) / grassland (20-50%)	4388
120	Mosaic grassland (50-70%) / forest or shrubland (20-50%)	8711
136	Closed to open (>15%) shrubland (<5m)	3431
144	Closed to open (>15%) herbaceous vegetation	2085
151	Sparse (<15%) vegetation	839
162	Closed to open (>15%) broadleaved forest regularly flooded	8515
170	Closed (>40%) broadleaved forest or shrubland permanently flooded	3800
180	Closed to open (>15%) grassland or woody on regularly flooded soil	3468
190	Artificial surfaces and associated areas (Urban areas >50%)	2245
203	Bare areas	240
210	Water bodies	23

Figura 6 – Media di DMP[hg/ha] tra il 199 e il 2009 per la classi di GlobCover in africa occidentale.

Le statistiche descrittive dei dati di campo ed il corrispettivo DMP, sono riportate in Figura 7. Anche i valori di biomassa campionati risultano comparabili con i valori riportati in letteratura. Tra questi Tucker et al. (1985), riporta che la produzione annua di biomassa nel nord del Senegal varia tra i 55 ei 1093 kg/ha, e Campbell e Stafford (2000) indicano che la produzione media in pascolo Saheliano è compresa tra 500 e 2500 kg/ha annui. Infine, Coulibaly (2001) in un rapporto edito dalla FAO, dichiara che nelle savane saheliane le aree con maggiore performance hanno una produttività media che varia da nord a sud tra 1000 e 2000 kg/ha.

Niger (n=546)	DMP [kg/ha]	Biomassa totale [kg/ha]	
mean	815	699	
st.dev	503	486	
mode	735	600	
min	59	17	
max	2822	2717	
Senegal (n=139)	DMP [kg/ha]	Biomassa totale [kg/ha]	Biomassa erbacea [kg/ha]
mean	3046	2158	1059
st.dev	1175	1180	575
mode	2846	1890	918
min	1111	323	109
max	6247	6028	2767

Figura 7 – Statistiche descrittive delle misure di campo e dei dati satellitari espresse in chilogrammi per ettaro [kg/ha]. Tra parentesi il numero di siti disponibili per il Niger e Senegal.

Nel caso del Senegal, il dataset fornito ha permesso la partizione della biomassa misurata nelle componenti erbacea e arbustiva, in Figura 7 i valori di biomassa totale tengono conto del contributo della componente arboreo-arbustiva e di quella erbacea. Tra le due componenti quest'ultima è indubbiamente la più importante per il sostentamento della pastorizia (gli arbusti vengono saltuariamente utilizzati come foraggio solo nei periodi di siccità) e per questo mostrata separatamente. I dati di produzione erbacea nigerini risultano di due volte inferiori a quelli senegalesi a causa dell'ubicazione meridionale (quindi con maggiori precipitazioni) di questi ultimi. Infatti prendendo in considerazione solo i siti nigerini meridionali la loro produzione media si avvicina molto a quella del *dataset* senegalese.

Per quanto riguarda il DMP, i valori delle statistiche descrittive per il Niger sono dello stesso ordine di grandezza dei dati di campo, con un minimo di zero (aree di suolo nudo) e un massimo di 2822 kg/ha (equivalente ad un pascolo con una produttività elevata). Diversamente i valori stimati DMP in corrispondenza dei siti senegalesi è volte significativamente superiore rispetto ai dati di campo (sia erbacei e arbustivi).

Una volta visualizzata la statistica dei dataset si è indagata la correlazione tra i dati, come mostrato in Figura 8. La sovrastima del DMP in Senegal è confermata dai valori negativi di CRM. Il DMP sovrastima anche in Niger (CRM <0) ma in misura decisamente minore essendo CRM vicino al valore ottimale che è zero.

Il valore negativo di EF in Niger indica che una semplice regressione lineare tra i dati di campo e le stime rappresenta uno stimatore migliore della biomassa rispetto al modello DMP, ma si tratta di un dato da prendere con cautela poiché questo indice risulta essere molto sensibile anche a singoli errori di misura. Vale a dire che anche un modello molto accurato che restituisce un solo valore molto lontano dal misurato risulterà avere un valore di EF inferiore a zero. Nel caso specifico è possibile che un dato di campo equivalente a zero raccolto subito dopo il passaggio di una mandria ma in una zona dove la vegetazione si era sviluppata per tutti i mesi precedenti (risultando quindi in un alto valore di DMP) abbia inficiato sull'output di questo indice.

Parametri	RRMSE	EF	CRM	R ²	Significatività ^a
Range	[0, +∞]	[-∞, 1]	[-∞, +∞]	[0, 1]	NS
Best	0	1	0	1	***
Niger	72.7	-0.1	-0.2	0.2	***
Senegal (a)	209.7	0.0	-1.9	0.3	***
Senegal (b)	81.1	0.0	-0.4	0,0	NS

^a *** < 0.001; ** < 0.01; * < 0.05; NS non significativa;

Figura 8 – Correlazione tra i dati misurati e la stima satellitare. Per il Senegal (a) è il dato di biomassa erbacea, (b) di biomassa totale. In grassetto i valori migliori.

Il coefficiente di determinazione R² mostra che non vi è alcuna correlazione tra le stime e le misurazioni della biomassa totale raccolta in Senegal, tuttavia la correlazione aumenta quando si considera unicamente la componente erbacea, tanto che in questo caso la correlazione risulta avere una alta significatività. Questo risultato ci ha suggerito di incorporare la componente arbustiva/arborea dalle analisi condotte successivamente, in quanto non correlato con le stime del DMP.

L'ampia variabilità dei dati mostrata dalla deviazione standard in Figura 7 e la bassa correlazione mostrata da R² hanno suggerito di condurre una analisi della covarianza (ANCOVA) in modo da poter introdurre nel modello di regressione delle variabili categoriche di interesse per lo sviluppo dei pascoli.

I risultati riguardanti il Niger mostrano che la variabile categorica ‘sito’, che indica la diversa ubicazione dei siti di misura, dà un contributo significativo nello spiegare la varianza della regressione tra dati stimati e misurati (d.f. = 176 / 369, $F = 4.263$, $***P < 0.001$). La correlazione tra i dati è inoltre influenzata in maniera statisticamente significativa dalla variabile ‘anno’, che indica la variabilità inter-annuale (d.f. = 21/524, $F = 17.29$, $***P < 0.01$) e dalle precipitazioni (d.f. = 11/534, $F = 23.16$, $***P < 0.01$).

Tra i vari fattori considerati, nessuno ha un effetto significativo sul modello di regressione in Senegal. Poiché i dati senegalesi coprono un’area più piccola rispetto a quelli del Niger (Figura 1), è probabile che la variabilità spaziale non sia tale da risultare in una significatività nell’analisi dell’ANCOVA. Per un motivo simile il fattore temporale (‘anno’) non ha alcuna influenza, poiché il set di dati copre solo cinque anni, mentre in Niger 11.

	fattori:	sito α	anno α	land cover α	isoieta α
Niger	Significatività	***	***	NS	***
	R^2	0.67	0.41	-	0.32
Senegal	Significatività	NS	NS	NS	NS
	R^2	-	-	-	-

α *** < 0.001; ** < 0.01; * < 0.05; NS non significativa;

Figura 9 – Test dell’ANCOVA. In grassetto i valori significativi.

La significatività delle piogge nella regressione tra i dati di campo e il DMP in Niger conferma l’importanza delle precipitazioni nello studio delle risorse naturali nell’area saheliana. I grafici in Figura 10 mostrano come varia la bontà della stima del DMP a seconda dell’isoieta. Le zone dove mediamente piove di meno hanno una maggiore correlazione ($R^2 = 0.6$) anche se presentano una sottostima del dato simulato rispetto al misurato. Viceversa, per le altre isoiete, oltre a diminuire la correlazione ad aumentare la dispersione dei dati, si osserva una sovrastima del DMP. Questo risultato conferma quanto osservato dall’indice CRM. L’ultima isoietta (450-500 mm) coprende un solo sito di misura, con sette dati in totale, e può essere considerata un outlier.

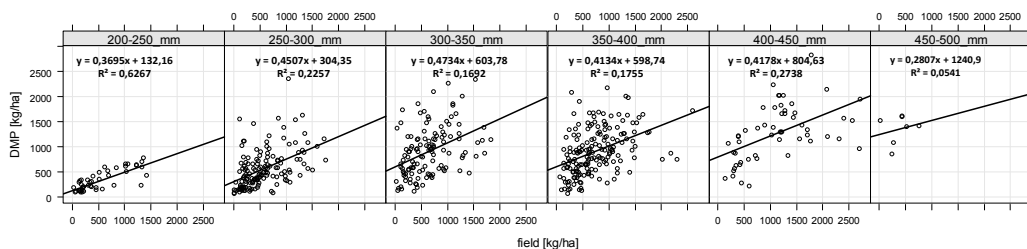


Figura 10 – Correlazione tra i dati misurati e DMP in Niger per le diverse isoiete.

La significatività degli altri due fattori nella correlazione tra i dati nigerini, i siti e gli anni, sono semplicemente un altro punto di vista per osservare la significatività delle piogge. Infatti i siti con maggiore correlazione sono quelli situati più a nord e gli anni in cui è maggiore la correlazione tra i dati sono quelli in cui è più alta la presenza di siti settentrionali.

Conclusioni

Questo lavoro è stato focalizzato sullo studio dei pascoli del Sahel, con la finalità di valutare l’affidabilità del Dry Matter Productivity (DMP) in una regione semi-arida caratterizzata da ampie variazioni climatiche e problemi di insicurezza alimentare. La visualizzazione delle medie di DMP per il periodo di interesse ed il confronto con una carta tematica di uso del suolo mostra come

globalmente la stima del DMP inquadra quelle che sono le produzioni di biomassa in Africa occidentale, con la differenza delle regioni tropicali dove la copertura nuvolosa inficia l'affidabilità delle misurazioni satellitari. Nel dettaglio, l'analisi statistica si è concentrata su due aree test, in Senegal e Niger, dove sono disponibili le misurazioni di campo della biomassa vegetale. L'accordo tra i dati di campo e le stime di DMP è piuttosto basso ($R^2 < 0,3$) ed è stata messa in evidenza una assenza di correlazione nell'area test senegalese in cui al termine della stagione delle piogge sono state campionate sia la biomassa erbacea che l'arbustiva/arborea. Tuttavia scorrendo quest'ultima componente dall'analisi di correlazione e tenendo conto unicamente della produzione erbacea la correlazione risulta significativa. Questa osservazione sottolinea la necessità di conoscere quale tipo di biomassa viene "osservata" e stimata dal satellite e trova conferma in Tucker et al. (1985) il quale affermò che il monitoraggio della produzione di biomassa pascoliva nel Senegal settentrionale è possibile solo dove la copertura arborea è inferiore al 10%.

L'analisi dell'ANCOVA sottolinea che il modello implementato da VITO può essere migliorato appositamente per le regioni saheliane, includendo parametri empirici dipendenti dalla disponibilità idrica e delle caratteristiche vegetazionali (componenti erbacee e arbustive).

In conclusione, il prodotto satellitare *Dry Matter Productivity* può sicuramente essere un'utile strumento di supporto al monitoraggio delle risorse naturali in un'area problematica come quella saheliana in cui sono carenti le informazioni locali.

Bibliografia

- Anyamba A., Tucker C.J. (2005), "Analysis of Sahelian vegetation dynamics using NOAA-AVHRR NDVI data from 1981-2003", *Journal of Arid Environments* 63 (3), 596-614
- Boschetti M., Stroppiana D., Brivio P.A., Combal B. and Batholomé E. (2008), "La qualità delle osservazioni nelle analisi di serie temporali di dati NDVI a scala regionale in Africa". Atti 13a Conferenza Nazionale ASITA, 1 – 4 dicembre 2009, Fiera del Levante Bari Arino, O., Gross, D., Ranera, F., Bourg, L., Leroy, M., Bicheron, P., Latham, J., Di Gregorio, A., Brockman, C., Witt, R., Defourny, P., Vancutsem, C., Herold, M., Sambale, J., Achard, F., Durieux, L., Plummer, S., Weber, J.L., GlobCover. ESA service for global land cover from MERIS. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium], IGARSS 2007, pp. 2412-2415, Barcelona, Spain
- Campbell B.D., & Stafford Smith D.M. (2000), "A synthesis of recent global change research on pasture and rangeland production: reduced uncertainties and their management implications", *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 82, 39-55.
- Combal B., Bartholomé E., Brivio P.A., Boschetti M., Stroppiana D., Martini, M. (2010), "The NARMA-geoland2 e-station an Earth Observation based decision support system tool for real time environmental monitoring in Africa", ISPRS GI4DM, Torino (Italy), 2-4 February 2010, CD, ISBN 978-88-903132-3-3.
- Coulibaly A. (2001), "Country pasture profiles. Pasture Profile for Mali", See: <http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/Counprof/Mali/mali.htm> last access 2011.
- ECOWAS-SWAC, (2006), *The Ecologically vulnerable zone of Sahelian countries*. Atlas on Regional Integration in West Africa, <http://www.oecd.org/dataoecd/41/49/38409502.pdf>.
- Fensholt R., Rasmussen, K. (2011), "Analysis of trends in the Sahelian 'rain-use efficiency' using GIMMS NDVI, RFE and GPCP rainfall data", *Remote Sensing of Environment*, 115, 438-451.
- Fensholt R., Sandholt I., Stisen S. (2006), "Evaluating MODIS, MERIS, and Vegetation - vegetation indices using in situ measurements in a semiarid environment" *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* (44), 1774-1786.
- Geesing D., Djibo H. (2001), "Country pasture profiles. Pasture Profile for Niger", See: <http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/Counprof/niger.htm>. last access 2011.
- Giannini A., Biasutti M., Verstraete M.M. (2008), A climate model-based review of drought in the Sahel: Desertification, the re-greening and climate change. *Global and Planetary Change* 64, 119-128.

- Haas E.M. (2010), *Temporal water bodies as ecological indicators in West African drylands*, Phd thesis Université Catholique de Louvain, Belgium.
- Hein L., de Ridder N. , Hiernaux P., Leemans R. , de Witd A. , Schaepman M. (2011), "Desertification in the Sahel: Towards better accounting for ecosystem dynamics in the interpretation of remote sensing images", *Journal of Arid Environments*, 75 1164-1172.
- Herrmann S.M., Anyamba A. (2005), "Recent trends in vegetation dynamics in the African Sahel and their relationship to climate", *Global Environmental Change Part A* 15(4), 394-404.
- Heumann B.W., Seaquist J.W., Eklundh L., Jönsson P. (2007), "AVHRR derived phenological change in the Sahel and Soudan, Africa, 1982-2005", *Remote Sensing of Environment* 108, 385-392.
- Huber S., Fensholt R., Rasmussen K. (2011), "Water availability as the driver of vegetation dynamics in the African Sahel from 1982 to 2007", *Global and Planetary Change*, 76, 186-195.
- Lamprey H.F. (1988), "Report on desert encroachment reconnaissance in Northern Sudan: 21 October to 10 November 1975", *Desertification Control Bulletin* 17, 1-7.
- Loague K.M., Green, R.E. (1991), "Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: overview and application", *J. Contam. Hydrol.* (7), 51-73.
- Monteith J.L. (1972), "Solar radiation and productivity in tropical ecosystems", *Journal of Applied Ecology*, (9), 747-766.
- Nicholson S.E., Grist J.P. (2001), "A conceptual model for understanding rainfall variability in the West African Sahel on interannual and interdecadal timescales", *International Journal of Climatology* 21, 1733-1757.
- Olsson L., Eklundh L., Ardö J. (2005), "A recent greening of the Sahel: trends, patterns and potential causes". *Journal of Arid Environments* 63, 556-566.
- Sala S. (2011), "Information methods and technologies for climate change adaption and food security in south asia and Sahel", Doctoral thesis Department of Crop Production, Faculty of Agriculture, Milan, Italy
- Sall, M.M. (2000), *Les atlas de l'Afrique—Sénégal*, Les Editions J.A., Paris, France.
- Seaquist J.W., Hickler T., Eklundh L., Ardo J., Heumann, B.W. (2009), "Disentangling the effects of climate and people on Sahel vegetation dynamics", *Biogeosciences*, 6, 469-477.
- Tucker C.J., Vanpraet C.L., Sharman M.J., Van Ittersum G. (1985), "Satellite Remote Sensing of Total Herbaceous Biomass Production in the Senegalese Sahel: 1980-1984", *Remote Sensing of Environment*, 17, 233-249.

Generatori software di traiettorie di oggetti in movimento per valutare le prestazioni di operatori spazio-temporali

Matteo Orsini, Paolino Di Felice (*)

(*) Dipartimento di Ingegneria Elettrica e dell'Informazione
Università dell'Aquila

Riassunto

Con il termine *trasporto* si indica il movimento di persone e merci sulla superficie terrestre. Ad un elevato livello di astrazione, gli uni e gli altri sono modellabili con punti la cui posizione mutua nel tempo con continuità (nel seguito, brevemente, *m-points*). Qualunque applicazione software evoluta nell'ambito dei trasporti si voglia sviluppare, essa deve opportunamente interagire con SGBD "irrobustiti" con un adeguato repertorio di operatori performanti per *m-points*. Prima del loro rilascio (come User Defined Function) è necessario validarne sperimentalmente il funzionamento e le prestazioni "sul campo", utilizzando dati sintetici significativi. La ricerca riassunta in questo articolo concerne la definizione di due algoritmi per la generazione di dati sintetici di traiettorie e la loro codifica. Nel seguito si darà ampio spazio alla descrizione degli elementi peculiari delle traiettorie generate con i predetti due algoritmi, insieme agli ambiti per un loro utilizzo ottimale.

Abstract

The term *transportation* means the movement of people and goods on the Earth's surface. At an high level of abstraction, one and each other are modeled with points whose position changes continuously over time (in the follow, briefly, *m-points*). Any software application developed in the field of transport you want to develop, it must interact appropriately with DBMS "enhanced" with an adequate repertoire of performed operator for *m-points*. Before their release (as User Defined Function) it is necessary to experimentally validate their functioning and their performances, using significant synthetic data. The research resumed in this article concern the definition of two algorithm for the generation of synthetic data for trajectories. In the following we will give ample space to the description of particular elements of the trajectories generated with the above two algorithms, along with areas for their optimal use.

Introduzione

La diffusione delle nuove tecnologie di posizionamento fondate sul Global Positioning System (GPS) ha notevolmente accresciuto l'interesse nello sviluppo di applicazioni mobili basate sui *m-points*, la cui modellazione attraverso soluzioni software rappresenta, al giorno d'oggi, un'esigenza concreta per tutte quelle organizzazioni aziendali che vogliono condurre investigazioni spazio-temporali sui dati territoriali in loro possesso. Se si pensa a un ente che gestisce i trasporti pubblici, ad esempio, risulta immediato intuire l'interesse che può avere nel monitorare le corse compiute dai propri mezzi, al fine di ottimizzare la copertura del territorio servito.

L'idea di arricchire i SGBD esistenti con operatori performanti per i *m-points* rappresenta una delle migliori strade perseguibili per l'integrazione semplice e immediata degli strumenti software atti al trattamento dei dati spazio-temporali all'interno delle infrastrutture informatiche utilizzate dalle aziende, le quali, nella maggior parte dei casi, fanno già riferimento a basi di dati gestionali classiche o abilitate spazialmente. A questo tipo di approccio nella gestione degli oggetti di movimento si sono dedicati negli ultimi anni diversi gruppi di ricerca accademici. Testimonianza ne

sono il progetto in corso HERMES (Pelekis et Al., 2010) e i risultati raggiunti dagli stessi autori di questa memoria e pubblicati in (Di Felice, Orsini, 2011), trattazione in cui vengono proposti due algoritmi utili al calcolo delle intersezioni fra coppie di *traiettorie* in presenza di incertezza (dove per *traiettoria* si intende l'insieme di punti dello spazio corrispondenti alle posizioni di un corpo in moto in istanti di tempo successivi). Il fatto che i nuovi operatori possano essere aggiunti come UDFs al gruppo di funzioni “*built-in*” puramente spaziali già presenti nei principali SGBD, rende gli stessi facilmente accessibili a utenti o applicazioni esterne che si collegano al database, i quali possono farne uso per mezzo di query definite con i comuni costrutti SQL.

In questo scenario, la disponibilità di un ambiente di analisi comparativa per testare le prestazioni delle strutture dati e degli operatori che agiscono su m-points è un'esigenza fortemente sentita da tutti coloro che si imbattono nella progettazione ex novo di soluzioni software per la loro gestione e interrogazione. Il bisogno di datasets sintetici di traiettorie con caratteristiche quanto più vicine alla realtà, ha indubbiamente sollecitato il mondo della ricerca e nel corso dell'ultimo decennio diversi gruppi di lavoro si sono concentrati nello studio di tecniche e algoritmi per la loro costruzione e generazione automatica. Risultati interessanti al riguardo sono stati proposti in (Theodoridis et al., 1999) e (Brinkhoff, 2002), articoli nei quali vengono presentati due approcci molto vantaggiosi per testare l'efficienza delle tecniche di memorizzazione e la velocità delle funzioni disponibili per accedere agli oggetti di movimento, ma pressoché di alcuna utilità quando si vuole valutare come gli stessi si relazionano gli uni con gli altri.

A seguire saranno proposti due nuovi algoritmi per la generazione di traiettorie sintetiche per i m-points, il primo dei quali dà luogo a evoluzioni spazio-temporali completamente casuali confinate in un'area di ampiezza predefinita, mentre il secondo origina andamenti più controllati, nei quali gli spostamenti dell'oggetto da una posizione a quella successiva, sono regolati da considerazioni riguardo la velocità massima che esso può assumere e la durata complessiva dell'osservazione. Nel rappresentare la traiettoria all'interno della base di dati, si è scelto di modellarne l'andamento geometrico attraverso un oggetto di tipo *linestring* e di memorizzare gli istanti di campionamento all'interno di un array di *timestamps*. Nel dettaglio, quindi, le traiettorie possono essere mantenute all'interno di una tabella del seguente tipo:

```
Trajectory (
    Pkey:           integer,
    Shape:          linestring,
    TimeValues:     timestamp with time zone ARRAY
)
```

A livello sperimentale, i due algoritmi che seguiranno sono stati implementati come UDFs in linguaggio procedurale PL/pgSQL ed eseguiti sul SGBD PostgreSQL, versione 8.4, abilitato con l'estensione spaziale PostGIS. La visualizzazione delle traiettorie seguite dai m-points verrà ottenuta attraverso l'uso del Sistema Informativo Territoriale open source Quantum GIS, applicativo equipaggiato con le funzionalità necessarie per collegarsi a database mantenuti in SGBD abilitati spazialmente e recuperarne il contenuto.

Generazione di traiettorie casuali

Il modo più banale ed intuitivo per dare origine a una traiettoria è quello di generare in maniera casuale i punti che ne determinano l'andamento spaziale e associare a ciascuno di essi un *timestamp* progressivamente incrementato di un valore *delta* costante. La cardinalità dei punti può essere vista come un parametro “*n*” variabile da specificare al momento dell'esecuzione. L'algoritmo proposto a seguire descrive i passi per la progettazione dell'operatore `generate_random_trajectory()` che genera m-points adottando la filosofia appena presentata. Esso riceve in input “*n*” ed al termine dell'elaborazione aggiunge un nuovo record alla tabella `Trajectory` impostando il campo `Shape` a una *linestring* di dimensione “*n*” e il campo `TimeValues` a un array di altrettanti valori.

Algoritmo: generate_random_trajectory (integer n)

Input: l'intero n che indica il numero di punti che costituiscono la traiettoria.

Output: Viene aggiunta alla tabella *Trajectory* nel database una nuova traiettoria specificata dalla *linestring* che ne modella l'andamento spaziale e dall'array di *timestamps* che ne descrive l'evoluzione temporale.

Metodo:

1. Siano *Points[]* e *Times[]* due array di oggetti rispettivamente di tipo *Point* e *timestamp with time zone*, inizialmente vuoti.
 2. $t = \text{now}()$
 3. $\text{delta} = "00:10:00"$
 4. $i = 1$
 5. **WHILE**($i \leq n$) **LOOP**
 6. $x = \text{random}()$
 7. $y = \text{random}()$
 8. $p = \text{st_makepoint}(x,y)$
 9. $\text{Points}[i] = p$
 10. $\text{Times}[i] = t$
 11. $t = t + \text{delta};$
 12. **END LOOP;**
 13. $\text{line} = \text{st_makeline}(\text{Points}[])$
 14. **INSERT INTO** *Trajectory*(*shape,timevalues*) **VALUES** ($\text{line},\text{Times}[]$)
 15. **END**
-

In riga 1 vengono recuperati per mezzo dell'operatore *now()* la data e l'ora correnti al momento dell'invocazione di *generate_random_trajectory()*, mentre in riga 2 viene impostato a 10 minuti l'intervallo *delta* di acquisizione dei dati. All'interno del ciclo **WHILE** vengono generate in maniera totalmente casuale le coordinate dell'*i-esimo* punto della traiettoria (righe 6 e 7), le quali vengono utilizzate come argomento dell'operatore OGC *st_makepoint(float, float)* per produrre una geometria di tipo *point* (riga 8). Quest'ultima viene aggiunta ordinatamente all'array dei punti (riga 9), mentre in quello dei *timestamps* vengono inseriti, di iterazione in iterazione, i valori di tempo t incrementati di *delta* (riga 10). Quando tutti gli n punti sono stati generati (la condizione di uscita dal ciclo **WHILE** è proprio $i > n$), la *linestring* che descrive l'andamento spaziale viene originata per mezzo dell'operatore OGC *st_makeline(array)*, che collega, interpolandole linearmente, tutte le posizioni $\langle x,y \rangle$ presenti all'interno dell'array *Points[]* (riga 13). Infine, la nuova traiettoria così definita, viene aggiunta all'interno della tabella *Trajectory* (riga 14). Per la generazione delle traiettorie utilizzate negli esperimenti di seguito riportati, abbiamo imposto che i valori delle coordinate x e y (riga 6 e 7) appartenessero entrambi all'insieme $[-10.000, 10.000]$.

L'esecuzione, come UDF, di *generate_random_trajectory()* in ambiente PostgreSQL porta alla generazione delle traiettorie riportate in Figura 1. Dalla loro mera visione è evidente che quanto più è alto il numero " n " di punti che le costituiscono, tanto più "nervosi", "fitti" e "disordinati" risultano i rispettivi andamenti spaziali.

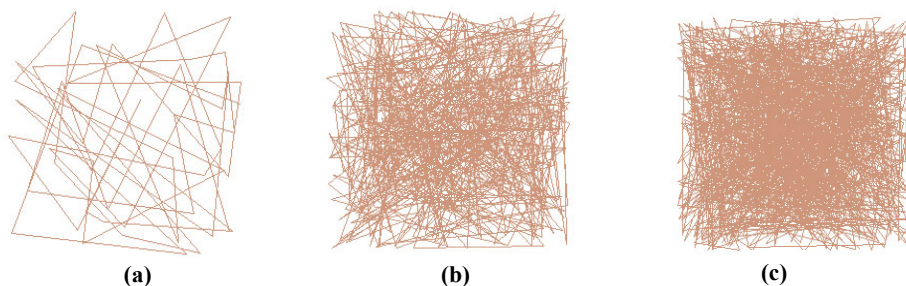


Figura 1 – Traiettorie generate con `generate_random_trajectory()` all'aumentare della cardinalità dei punti per $n=50$ (a), $n=500$ (b) e $n=1000$ (c).

L'osservazione della realtà ci permette di affermare che tali traiettorie sono appropriate a simulare il movimento di m-point all'interno di spazi confinati (ad esempio, riserve per animali, aree chiuse sotto sorveglianza, quali gli aeroporti o aree urbane nel caso di osservazione di veicoli). Si osservi che passare da $n=50$ a $n=1000$ significa anche coprire un periodo di osservazione del m-point che va da 4 h 20' a 6 giorni 22h 40' (in accordo con l'assunzione che l'intervallo di acquisizione sia fissato in 10 minuti). Ciò che drammaticamente differisce è la distanza coperta dal m-point a seconda che esso sia una persona, un animale o una macchina. Essendo corretto affermare che quando il numero dei punti che costituiscono le traiettorie aumenta, le rispettive evoluzioni spaziali diventano più confuse e disordinate e tendono a riempire l'intero spazio di rappresentazione (come testimoniato da Figura 1), è facilmente immaginabile che tali traiettorie nel relazionarsi tra loro vadano ad incontrarsi geometricamente in un elevatissimo numero di punti. Quest'ultima circostanza non trova riscontro nella modellazione di scenari di effettivo interesse pratico.

Generazione di traiettorie semi-casuali

Con la volontà di migliorare le caratteristiche delle traiettorie da utilizzare nelle campagne di esperimenti e renderle più affini a quelle reali, presentiamo un nuovo algoritmo per la loro generazione, chiamato `generate_actual_trajectory()` il quale riceve in input tre parametri che modellano altrettante proprietà fondamentali del m-point che deve essere creato, nell'ordine:

- *v_max*: indica la massima velocità che esso può raggiungere;
- *duration*: indica la durata (in minuti) dell'osservazione;
- *initial_timestamp*: indica l'istante in cui viene acquisito il primo punto che lo costituisce.

Sebbene non presente tra i parametri, il numero “ n ” di punti di campionamento, elemento importante nella valutazione delle prestazioni, viene determinato in base a una serie di considerazioni sulla velocità massima che il m-point può assumere nel corso della sua osservazione e alla durata di quest'ultima. A tal proposito, con riferimento al parametro *v_max*, esso può essere determinato in analogia a quanto fatto da Brinkhoff in (Brinkhoff, 2002), sia considerando la velocità massima raggiungibile dall'oggetto che si intende modellare (un veicolo può anche superare i 130 Km/h; mentre un essere umano è difficile che possa mantenere una velocità superiore ai 10 Km/h, se non correndo; una formica avanza lentissima mentre una gazzella può raggiungere anche gli 80 Km/h), che valutando le caratteristiche dell'ambiente in cui avviene il movimento (in un centro urbano molto trafficato si cammina a passo d'uomo, mentre in una strada ad elevata comunicazione si possono raggiungere anche i 130 Km/h). Intuitivamente, se un oggetto può spostarsi poco (*v_max* bassa) è inutile campionarne i punti in maniera troppo ravvicinata (ad esempio, un autobus nel bel mezzo di un ingorgo stradale potrebbe rimanere fermo anche per molti

minuti nella stessa posizione), mentre se esso è in grado di muoversi rapidamente può anche raggiungere punti molto lontani tra loro in breve tempo (ad esempio una macchina che percorre un'autostrada non trafficata). In sostanza nella modellazione di una traiettoria, non solo è importante definire i segmenti di linea che la costituiscono, ma anche contestualizzarli allo spazio in cui ci si sta muovendo. Per quanto detto, in `generate_actual_trajectory()` il *passo di campionamento* “delta” viene stabilito in base al valore di v_{max} ed è tanto minore quanto più la traiettoria è veloce. Nel dettaglio riteniamo plausibili le seguenti associazioni:

- $v_{max} < 20 \text{ Km/h} \rightarrow \text{delta} = 120 \text{ sec}$;
- $20 \text{ Km/h} \leq v_{max} < 40 \text{ Km/h} \rightarrow \text{delta} = 100 \text{ sec}$;
- $40 \text{ Km/h} \leq v_{max} < 50 \text{ Km/h} \rightarrow \text{delta} = 80 \text{ sec}$;
- $50 \text{ Km/h} \leq v_{max} < 60 \text{ Km/h} \rightarrow \text{delta} = 50 \text{ sec}$;
- $60 \text{ Km/h} \leq v_{max} < 70 \text{ Km/h} \rightarrow \text{delta} = 40 \text{ sec}$;
- $70 \text{ Km/h} \leq v_{max} < 80 \text{ Km/h} \rightarrow \text{delta} = 30 \text{ sec}$;
- $80 \text{ Km/h} \leq v_{max} < 90 \text{ Km/h} \rightarrow \text{delta} = 20 \text{ sec}$;
- $v_{max} \geq 90 \text{ Km/h} \rightarrow \text{delta} = 10 \text{ sec}$.

Fissato *delta* e nota la durata (*duration*) dell'osservazione, il numero “*n*” dei punti che costituiscono la traiettoria rimane univocamente stabilito dal rapporto:

$$n = \left\lceil \frac{\text{duration}}{\Delta} \right\rceil$$

Analogamente a quanto fatto in `generate_random_trajectory()` i *timestamps* di acquisizione dei punti possono essere determinati aggiungendo iterativamente la quantità *delta* all'ultimo valore calcolato. La scelta di specificare il *timestamp* iniziale e di non recuperarlo attraverso l'operatore `now()` è dovuta alla considerazione che definendo a priori il momento di inizio del campionamento e la sua durata complessiva è possibile avere il pieno controllo dell'estensione temporale del m-point e del suo posizionamento sull'asse dei tempi.

Particolarmente interessante è il meccanismo adottato per la generazione *semi-casuale* dei punti che determinano l'evoluzione spaziale dell'oggetto modellato. Si parte dal presupposto che nota la velocità estrema raggiungibile dal m-point, è possibile determinare la distanza massima (d_{max}) che esso può coprire nell'arco di tempo *delta*, sfruttando la ben nota formula *spazio* = *velocità* * *tempo* da cui segue immediatamente che:

$$d_{max} = v_{max} * \text{delta}$$

Il generico punto P_{i+1} può, di conseguenza, essere generato in maniera più oculata scegliendone le coordinate all'interno di una regione circolare di raggio d_{max} e centro nel punto P_i (da qui la necessità di tenere memoria della posizione campionata nell'iterazione precedente). In Figura 2 viene graficamente sintetizzato il ragionamento appena esposto: in (a) si mostra la costruzione di un buffer “ Θ_1 ” di raggio d_{max} intorno al primo punto P_1 ; in (b) si sceglie il secondo punto P_2 all'interno di Θ_1 e si costruisce intorno ad esso il nuovo buffer Θ_2 sempre di raggio d_{max} ; in (c) il successivo punto P_3 viene scelto sul confine di Θ_2 e con centro in esso viene tracciato il nuovo buffer Θ_3 . L'adozione della tecnica appena descritta permette di contemplare tutte le situazioni in cui il m-point si muove a velocità variabile da 0 a v_{max} durante l'intervallo di campionamento. Solo quando il punto appartiene alla linea di confine del buffer Θ (vedi Figura 2-c) si può assumere che esso abbia mantenuto velocità costante pari a quella massima durante il periodo *delta*.

L'algoritmo proposto a seguire sintetizza la sequenza di operazioni necessarie alla realizzazione di `generate_actual_trajectory()`.

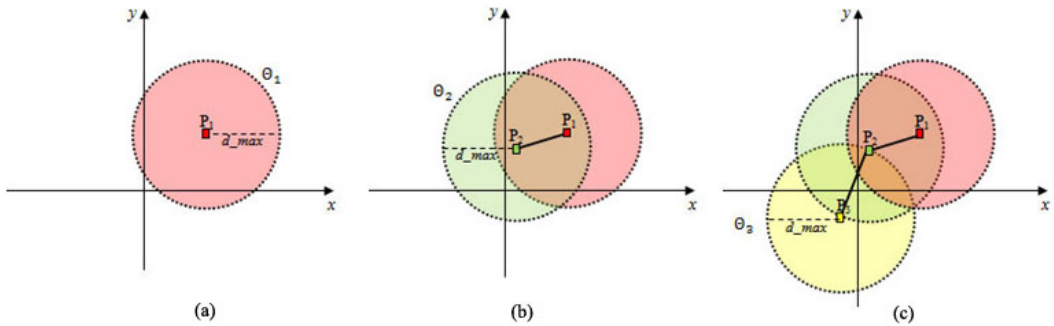


Figura 2 – Visualizzazione del metodo di generazione degli andamenti spaziali dei *m*-points in `generate_actual_trajectory()`.

Algoritmo: `generate_actual_trajectory (integer v_max, integer duration, timestamp t_ini)`

Input: i valori *v_max*, *duration* e *t_ini* che indicano rispettivamente la velocità massima del *m*-point espressa in Km/h, la durata dell'osservazione espressa in minuti e il *timestamp* di inizio del campionamento.

Output: Viene aggiunta alla tabella *Trajectory* del database una nuova traiettoria specificata per mezzo della *linestring* che ne modella l'andamento spaziale e l'array di *timestamps* che ne descrive l'evoluzione temporale.

Metodo:

1. Siano *Points[]* e *Times[]* due array di oggetti rispettivamente di tipo *point* e *timevalues with time zone*, inizialmente vuoti.
 2. Determina il passo di campionamento *delta* in base al valore *v_max*;
 3. $n = \lfloor \text{duration} * 60 / \text{delta} \rfloor$;
 4. $d_max = (v_max * \text{delta} * 1000) / 3600$;
 5. Genera in maniera casuale il primo punto *p* ;
 6. *Points*[1] = *p*;
 7. *Times*[1] = *t_ini*;
 8. *i*=2;
 9. **WHILE**(*i* ≤ *n*) **LOOP**
 10. Costruisci il buffer Θ di raggio *d_max* e centro *p*
 11. Genera una coppia casuale di coordinate <*x*,*y*> appartenente a Θ
 12. *p* = *st_makepoint* (*x*,*y*)
 13. *Points*[*i*] = *p*
 14. *Times*[*i*] = *t_ini*+*delta*;
 12. **END LOOP**;
 13. *line* = *st_makeline* (*Points*[])
 14. **INSERT INTO** *Trajectory*(*shape,timevalues*) **VALUES** (*line,Times*[])
 15. **END**
-

La generazione casuale del primo punto (riga 5) può essere ottenuta in maniera del tutto analoga a quanto previsto per `generate_random_trajectory(int n)` alle righe 6, 7 e 8. A supporto della costruzione del buffer territoriale (riga 10), può essere utilizzato l'operatore OGC `st_buffer(geometry, float)`, mentre per dare origine a una coppia casuale $\langle x, y \rangle$ appartenente a  basta generare due valori random compresi nell'intervallo $[-d_max, d_max]$ e sommarli alle coordinate x e y del punto precedentemente acquisito. Solo successivamente, per mezzo dell'operatore OGC `st_contains(geometry, geometry)`, si può procedere a verificare se quanto ottenuto sia contenuto all'interno di . La Figura 3 mostra alcuni esempi di traiettorie ottenute utilizzando l'algoritmo appena presentato. Nel dettaglio per ciascuna di esse sono stati impostati i seguenti parametri:

- a) $v_max = 60$ Km/h, $duration = 34$ min $\rightarrow \Delta = 40$ sec, $n=51$;
- b) $v_max = 60$ Km/h, $duration = 667$ min (più di 11 ore) $\rightarrow \Delta = 40$ sec, $n=1000$;

Come suggeriscono le illustrazioni stesse, gli andamenti spaziali risultanti sono paragonabili agli spostamenti di un veicolo all'interno di una rete stradale più o meno estesa. D'altra parte, quantificare in 60 Km/h la velocità massima raggiungibile dall'oggetto modellato equivale a contestualizzarlo all'interno di una rete stradale urbana al più periferica (basti considerare che in una arteria autostradale sono ammessi valori di velocità molto più elevati).

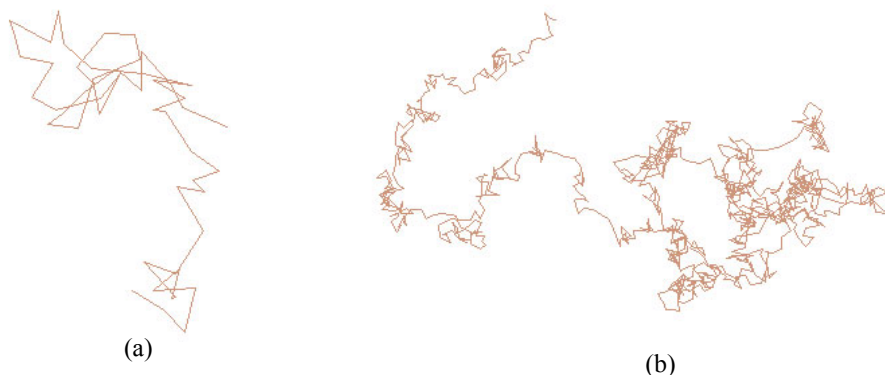


Figura 3 – Traiettorie generate con `generate_actual_trajectory()` all'aumentare della cardinalità dei punti per $n=51$ (a) e $n=1000$ (b).

Il fatto che le traiettorie generate per mezzo di `generate_actual_trajectory()` seguano un andamento spaziale meno nervoso rispetto a quelle ottenute con `generate_random_trajectory()` (vedi Figura 1 e Figura 3 per un confronto diretto a parità di “ n ”) comporta anche che nel relazionarsi tra loro i m-points si incontrino in meno punti (come testimoniato da Figura 4), situazione auspicabile in un ambiente di analisi comparativa “*semi-realistico*” costruito ad hoc per testare le prestazioni di operatori spazio-temporali.

Conclusioni

Gli algoritmi proposti rappresentano una valida alternativa alle complesse procedure ad oggi note per la generazione delle traiettorie utilizzate nell'ambito dell'analisi sperimentale di operatori che agiscono su punti di movimento. In particolar modo, `generate_actual_trajectory()` consente di modellare in maniera più che accettabile i percorsi seguiti da autovetture o altri mezzi di trasporto, entità comunemente soggette a valutazioni di carattere spazio-temporale.

D'altra parte, avere la possibilità di studiare preliminarmente le prestazioni di operatori che agiscono su oggetti la cui posizione cambia nel tempo, permette di scegliere le soluzioni più efficienti per la loro gestione e facilita l'adozione di eventuali interventi correttivi volti a eliminare comportamenti indesiderati. In definitiva quanto proposto rappresenta un strumento software di semplice implementazione e utilizzo, di ausilio nello studio e nella definizione di operatori spaziotemporali, anche complessi.

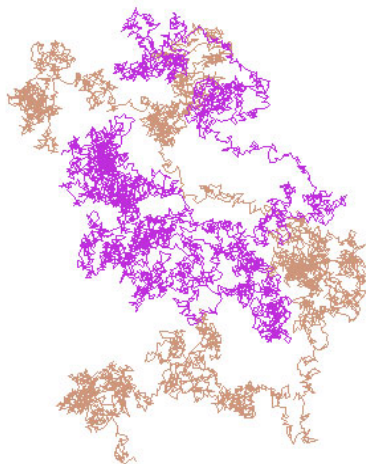


*Figura 4 – Due m-points di 5000 punti ciascuno generati
con generate_actual_trajectory().*

Bibliografia

Brinkhoff, T.: A Framework for Generating Network-Based Moving Object. In *GeoInformatica* Vol. 6, No. 2: 153-189, 2002

Di Felice, P. and Orsini, M.: Spatio-temporal intersection of trajectories under uncertainties. *IXX Simposio sui Sistemi Evoluti per Basi di Dati*, 26 Giugno 2011, Maratea.

Pelekis, N., Frentzos, E., Giatrakos, N., Theodoridis, Y.: Supporting Movement in ORDBMS – the ‘HERMES’ MOD Engine. Technical Report Series, Departement of Informatics, University of Piraeus, UNIPI-INFOLAB-TR-2010-01, July 2010.

Theodoridis, Y., Silva, J.R.O., Nascimento, M.A.: On the Generation of Spatiotemporal Datasets. In *Proceedings 6th International Symposium on Large Spatial Databases*, Hong Kong, China; Lecture Notes in *Computer Science* Vol. 1651: 147-164, 1999.

La gestione e l'aggiornamento del DBT in relazione alle procedure tributarie in un Comune

Stefano Pacchiana (*), Simone Castoldi (**), Gianpiero Monti (**), Paolo Viskanic (***)

(*) Via ai pini 10, 23900 Lecco, E-mail: spock@spock.it

(**) HALLEY LOMBARDIA S.n.c, Viale Cesare Cattaneo 10/B, 22063 CANTU, E-mail: info@halleylombardia.it

(***) R3 GIS srl, Via J. Kravogl 2, 39012 Merano (BZ), E-mail: paolo.viskanic@r3-gis.com

Introduzione

In Lombardia, la gestione dell'ambito amministrativo del Comune ha subito nel corso degli ultimi anni un profondo cambiamento. Queste modifiche sono state generate dalla necessità di un maggior controllo economico e di conseguenza di una fiscalità corretta e certa. La metodologia che permette il raggiungimento di questi obiettivi è l'integrazione con l'elemento territoriale. Le risorse fondamentali per integrazione delle componenti gestionali e territoriali sono da un lato la cartografia, che secondo i dettami di Regione Lombardia è rappresentato dal DBT (*database* Territoriale) e dall'altro soluzioni *software* che permettano la gestione simultanea delle due fonti dati. Come è noto, il DBT regionale definisce la piattaforma comune per la gestione puntuale del territorio. Inoltre, il DBT non può essere uno strumento statico, in quanto il territorio subisce continue modifiche. Pertanto è necessario intercettare questi cambiamenti e trovare una metodologia che permetta l'aggiornamento continuo e dinamico della base cartografica. L'intercettazione di queste modifiche deve essere fatta laddove le stesse vengono "autorizzate" e pertanto attingendo da un lato alle pratiche edilizie, e dall'altro ai lavori pubblici. Esiste però un'altra fonte di dati: l'aspetto tributario.

L'aspetto tributario rende disponibile due tipologie di dati:

- tributi maggiori (ICI e TARSU/TARIFFA rifiuti)
- tributi minori

Dai primi è possibile acquisire e georiferire informazioni riguardanti le UI (Unità Immobiliari), nonché le superfici dichiarate degli immobili e il relativo incrocio delle stesse con i DOCFA resi disponibili dall'AdT (Agenzia del Territorio). Dai secondi tutte quelle modifiche territoriali minori, la cui autorizzazione è spesso rilasciata congiuntamente ad una pratica edilizia e non monitorata, che possono sfuggire alle entrate ordinarie dell'Ente.

Approccio al cambiamento

La soluzione del gruppo di lavoro ha la *vision* di supportare e accompagnare l'Ente nel cambiamento attraverso una metodologia tecnico-logica di integrazione dei dati su piattaforma comune al fine di normalizzare il sistema delle anagrafi con il sistema del territorio. Questo cambiamento, che apparentemente sembra traumatico, trasforma l'Ente da soggetto che osserva le trasformazioni territoriali a gestore dello stesso. Questo radicale cambiamento ha come ricaduta positiva il fatto che l'Ente assume il ruolo e la consapevolezza di depositario unico dei dati, che possono essere arricchiti e/o modificati anche da soggetti esterni, ma con regole e metodologie previste dal Comune e il cui risultato finale va ad arricchire gli archivi dello stesso e non quelli del fornitore.

Dispositivi legislativi

La necessità individuata da RL di definire una piattaforma comune per la gestione puntuale del territorio, è il recepimento a livello regionale di direttive mondiali, europee e nazionali. In particolare:

- **direttiva europea Inspire:**

Infrastructure for Spatial Information in Europe è la direttiva Europea che sancisce come devono essere trattati i dati geografici per poter realizzare un sistema di scambio di informazioni a livello di comunità europea. Senza entrare nello specifico si possono così riassumere i contenuti fondamentali di tale direttiva:

- Ogni stato dell'Unione deve dotarsi di una Infrastruttura Nazionale per la gestione, la manutenzione e l'aggiornamento dei propri dati territoriali
- La gestione è codificata a livello Europeo, ogni Infrastruttura Nazionale è un nodo armonico della sovrainfrastruttura Europea
- Metadati: ogni informazione geografica deve essere descritta attraverso un set di dati (chiamati metadati) anch'essi codificati a livello europeo
- Devono essere predisposti adeguati servizi di consultazione “gratuita” del dato

La direttiva INSPIRE delinea inoltre quali debbano essere i set di dati fondamentali e di prioritaria gestione:

- Sistemi di coordinate
- Toponimi
- Unità amministrative
- Indirizzi
- Particelle catastali
- Reti di trasporto
- Idrografia
- Siti protetti

La direttiva, della quale si discute almeno dal 2002, è in vigore dal 15 Maggio 2007.

- **il codice dell'amministrazione digitale**

A livello italiano, gli aspetti fondamentali della direttiva INSPIRE, sono stati in qualche modo recepiti dal Codice dell'Amministrazione Digitale. Questo recepimento è normato dall'Articolo 59 Comma 1 : definizione di dato territoriale; i successivi commi dello stesso articolo recepiscono i contenuti di INSPIRE:

Comma 2: viene istituito il Comitato per le regole tecniche sui dati territoriali delle PA, tale organismo si occuperà di definire le linee guida per la realizzazione delle basi dati territoriali e per la loro diffusione attraverso il sistema pubblico di connettività

Comma 3: Presso il CNIPA è istituito il Repertorio Nazionale dei Dati Territoriali, un portale per la diffusione delle basi informative geografiche di interesse generale

Comma 7 bis: I dati catastali, gestiti ed erogati dall'Agenzia del Territorio, sono definiti in una base informativa di interesse nazionale

Il Codice dell'Amministrazione Digitale è in vigore dal 1 Gennaio 2006.

- **Censimento 2011**

In occasione del XV° Censimento generale della popolazione e delle abitazioni, l'ISTAT ha emanato una serie di circolari che formalizzano gli adempimenti in carico ai Comuni relativamente agli strumenti ecografici e topografici. Le linee guida fondamentali contenute in queste comunicazioni possono essere così riassunte:

L'ISTAT fa grande affidamento sulla disponibilità di dati derivanti dal precedente censimento del 2001, mette a disposizione dei comuni un apposito portale web <http://basiterritoriali.istat.it/> che permette di valutare le basi territoriali di riferimento già esistenti (sostanzialmente le sezioni di censimento sovrapposte a foto aeree) e ha chiesto di aggiornare tali basi ove siano mutate.

L'ISTAT richiama gli enti alla corretta gestione della toponomastica, della numerazione civica esterna ed interna, facendo riferimento al Regolamento Anagrafico ed alle istruzioni in esso contenute per la formazione del piano topografico e per l'ordinamento ecografico.

L'ISTAT precisa che lo stradario dovrà essere normalizzato e geocodificato alle sezioni di censimento aggiornate.

- **la legge regionale 12/2005 o legge di governo del territorio**

A livello Regionale la direttiva nazionale è stata introdotta nella “Legge per il Governo del Territorio” (12/2005) e nelle successive modifiche.

Questo corpus atto normativo, per certi versi precursore di alcuni aspetti della normativa nazionale, rende operativi molti punti chiave della direttiva INSPIRE, calandoli nella realtà regionale lombarda. Vengono sancite le modalità di trattamento delle basi dati geografiche, l'interoperabilità dei dati e degli strumenti di governo del territorio attraverso la ridefinizione del Piano Territoriale Regionale, i Piani Territoriali di Coordinamento Provinciale, l'introduzione dei Piani di Governo del Territorio che sostituiscono i vecchi Piani Regolatori Generali. Attraverso la legge 12 la Regione Lombardia struttura e rende disponibile il proprio Sistema Informativo Territoriale invitando gli Enti Locali a conformarsi con esso a livello di interoperabilità. Inoltre, attraverso dei tavoli tecnici Regionali, si stanno predisponendo le specifiche per l'integrazione del sistema territoriale con il sistema delle anagrafi, quindi con i dati gestionali

Le informazioni oggi rese disponibili dal Geoportale di Regione Lombardia, seppur ben lungi dall'essere pienamente aderenti a quanto richiesto dalla direttiva INSPIRE, rappresentano un ottimo nucleo di partenza dal quale nessun amministratore dovrebbe prescindere. L'aspetto più critico di tutto l'impianto è però sicuramente quello di aver “calato dall'alto” metodi di trattamento delle informazioni senza fornire adeguati strumenti operativi agli Enti Locali. Il dato di fatto è che, per molteplici ragioni, che varrebbe la pena di affrontare in altre sedi, pochissimi Enti Locali sono oggi in grado di recepire pienamente questa normativa e queste metodologie di lavoro. E' dunque necessario trovare non solo il giusto bilancio tra competenze interne all'Ente e supporto da parte di ditte esterne, ma anche un modello di crescita culturale del personale comunale che prima o poi dovrà essere in grado di lavorare con strumenti, se non moderni, quantomeno “contemporanei”.

Strumenti strategici: integrazione dati

La soluzione proposta prevede una metodologia tecnico-logica di integrazione dei dati su piattaforma comune al fine di normalizzare il sistema delle anagrafi con il sistema del territorio. Il territorio è per sua natura il punto di partenza ma anche l'approdo di svariati contenuti informativi che, pur non potendo essere graficamente rappresentabili, contribuiscono alla descrizione del territorio stesso. Questo deriva dalla definizione medesima di geografia, che non è solo la cartografia, ovvero la mera rappresentazione statica di un luogo, ma anche lo studio dei fattori fisici ed antropici che contribuiscono alla definizione di quel luogo.

Se questo può sembrare un concetto troppo accademico per essere calato all'interno di un Ente Pubblico come un Comune, basti pensare alle molteplici interazioni che l'Ente stesso ha con il suo ambito amministrativo territoriale, in termini demografici, tributari e normativi. Applicare ad esempio un tassa ad un fabbricato, è sicuramente un'operazione che merita di poter essere gestita attraverso strumenti che non perdano di vista il fatto che quel fabbricato esiste ed è in un preciso luogo e non in un altro. E' dunque indispensabile che le informazioni che possono avere

un'attinenza territoriale, quand'anche non grafiche, siano gestite con strumenti in grado di utilizzare e valorizzare questo tipo di attinenza. Pertanto la correlazione OGGETTO→ATTRIBUTI, dove per oggetto si intende l'elemento territoriale e per attributi le informazioni sia tecniche (altezza, volume) che gestionali (proprietario, residente titolare dell'ICI e della Tarsu) è il punto chiave dell'integrazione. Ulteriore punto di forza deve essere la certificazione dell'informazione. Infatti punto fondamentale nella trattazione di qualsiasi informazione, ma in particolar modo nel caso dell'informazione geografica, intesa come correlazione OGGETTO→ATTRIBUTI, è la validità dell'informazione stessa. Per quanto questo sembri una banalità, molto spesso una criticità che gli Enti Pubblici devono risolvere è la seguente: la prima certezza che qualsiasi amministratore dovrebbe avere è quella dei confini del suo ambito amministrativo, parlando di Comuni, il confine comunale. In Italia, qualsiasi Comune ha, come minimo, tre versioni differenti del proprio confine:

- il confine tracciato sulla cartografia aerofotogrammetrica
- il confine Catastale
- il confine ISTAT

Chiaramente nessuno strumento informatico, può definitivamente risolvere questo grado di incertezza. Tuttavia l'applicazione del metodo alla base dei GIS può permettere l'emersione di queste inesattezze e la loro correzione, almeno a livello della definizione di un unico confine valido non solo per la singola amministrazione ma anche per quelle contermini.

Analogo discorso può essere fatto sull'informazione patrimoniale in quanto territorialmente l'OGGETTO georiferito è l'immobile (o la UIU) e l'ATTRIBUTO al asse collegato è il codice fiscale dei residenti, e degli intestatari dei tributi. A seguito di questa normalizzazione, che permette sia di accertare la correttezza delle banche dati, che di far emergere l'elusione, l'informazione stessa viene dunque rettificata, assunta come ufficiale e distribuita nella sua versione originale. Chiunque, da questo punto in poi, utilizzi un'informazione diversa da quella ufficiale, produrrà un dato non valido e non recepitibile dalla comunità dei soggetti.

Le banche dati che concorrono alla normalizzazione del dato sono:

o **Database topografico e catastale**

Il DBT è una banca dati spaziale, che rappresenta i vari oggetti presenti sul territorio. Il DBT viene gestito attraverso il SIT (Sistema Informativo Territoriale), che comprende procedure, coadiuvate da opportune dotazioni *software* ed *hardware*, e operatori qualificati, e permette la consultazione, l'aggiornamento e la diffusione del patrimonio informativo. Il principio fondamentale, base di questa metodologia, è il seguente: un dato territoriale è prima di tutto "qualunque informazione geograficamente localizzata" (articolo 59, comma 1, Codice dell'Amministrazione Digitale). Inoltre questa localizzazione non è bidimensionale, ma tridimensionale e pertanto permette una comprensione del territorio completamente differente dalla classica cartografia, tale da essere utilizzata per svariate applicazioni quali inquinamento acustico, analisi di produttività, potenziale fotovoltaico, etc.

La struttura del DBT è progettata in modo che non sia più necessario, ma nemmeno opportuno, rifare una nuova cartografia ogni 5/10 anni. Bisogna invece aggiornare il DBT identificando e tracciando le informazioni che quotidianamente l'Ente acquisisce. Il DBT è conforme e integrato sia al PGT che al PUGSS.

Le informazioni catastali, recepite direttamente dai dati resi disponibili dall'AdT, e correttamente georiferite attraverso le metodologie messe appunto dal gruppo di lavoro, sono fondamentali per la gestione urbanistica e per i PUGSS e devono essere mantenute aggiornate attraverso gli strumenti stessi dell'AdT (Docfa e Pregeo). La metodologia sperimentata non è la congruenza geometrica, che normalmente non è supportabile, ma è possibile ragionare sulla

corrispondenza morfologica delle particelle, proprio come si fa negli studi professionali quando si tenta di sovrapporre la mappa catastale all'esistente per arrivare a definire le particelle interessate. L'integrazione fra DBT e catasto (carta unica) è inoltre fondamentale per la gestione delle aree demaniali e dei relativi canoni.

- **Database anagrafico**

Come è noto il *database* Anagrafico non rappresenta il sistema delle anagrafi, ma solo le informazioni demografiche. I dati delle "procedure demografiche" per convenzione confluiscono in un unico Archivio integrato che costituisce la parte più rilevante del *database* della Popolazione.

Il *database* della Popolazione contiene i dati relativi agli abitanti del Comune estesi alle attività commerciali ed industriali, con riferimenti ai tributi ed alle bollettazioni. Le informazioni e le variazioni raccolte dagli Uffici Demografici vengono immediatamente storicizzate: gli Archivi sono quindi aggiornati in tempo reale.

Gli aggiornamenti relativi alle nuove iscrizioni anagrafiche o ai cambi di abitazione, sono archiviati dalle procedure in modo tale da permettere l'associazione univoca della famiglia con la rispettiva unità immobiliare. Tale integrazione pone le basi per un realistico utilizzo di dette informazioni da parte di altri uffici del comune (Tributi, Urbanistica, ecc.): questa sinergia è parte del Sistema Informativo Comunale Integrato.

- **Database tributario**

Le procedure gestiscono, di norma, l'archivio unico che contiene i dati anagrafici di tutti i contribuenti; è collegata ad ogni singolo tributo e può attingere informazioni sia per aggiungere nuove anagrafiche che per utilizzare quelle esistenti. Grazie all'integrazione tra tutte le procedure riguardanti i Tributi, è possibile effettuare una serie di riscontri o produrre, a supporto dell'operatore, una serie di liste che evidenziano le situazioni anomale (come l'evasione parziale o totale). Le procedure realizzano inoltre le rispettive circolari di richiesta accertamenti da inviare ai contribuenti.

Grazie alla completa integrazione delle soluzioni *software* con il *database* dell'Ufficio Anagrafe è possibile importare, e periodicamente correggere, le anagrafiche utilizzate. Questo collegamento consente di utilizzare un *database* dei Contribuenti sempre aggiornato. Il collegamento con la Gestione del Territorio (attivato mediante la specificazione del numero civico o dell'Unità Immobiliare) rende possibile la gestione delle Unità Immobiliari Urbane controllando i tributi pagati da ogni contribuente in un dato edificio, zona del territorio o in un'unità immobiliare. E' possibile anche consultare e stampare l'elenco di tutte le utenze attive per via e numero civico o per unità immobiliare selezionati, al fine di effettuare ulteriori controlli.

- **Database tecnico**

La rilevazione del territorio fotografa in un certo istante la situazione di tutto quello che insiste sullo stesso: edifici UIU, negozi, edifici industriali, ecc. Queste informazioni legate come minimo alla copia toponimo_civico+unità_immobiliare permette il collegamento con rapporto 1:1 fra l'OGGETTO generato dal DBT e l'ATTRIBUTO (soggetto identificato tramite il codice fiscale/partita iva) del sistema delle anagrafi (*database* anagrafico e tributario). La metodologia di aggiornamento di questa base dati, per essere conforme alle specifiche Regionali, deve passare attraverso l'uso del Modello Unico Digitale per l'Edilizia (MUDE).

- **Gestione territorio**

Il sistema delle anagrafi sopra descritto, si relaziona con la componente cartografica attraverso la Gestione Territorio. La scelta di questa soluzione fa sì che tutte le procedure dialoghino con un solo applicativo, che permette di gestire in maniera semplice e intuitiva tutte le informazioni territoriali, dalle nazioni alle unità immobiliari. Ogni dato viene così mantenuto univoco e può essere usato per mettere in relazione informazioni gestite da uffici diversi.

- **Demanio idrico**

Una banca dati tributaria spesso tralasciata dagli Enti Locali è il Demanio Idrico. Questa è spesso una scelta piuttosto che una dimenticanza, infatti l'elemento di riferimento per gli oggetti che attivano il canone di polizia idraulica è costituito dal reticolo idrico la cui posizione dell'argine, cioè di quella linea da cui devono essere valutati i 10 m dell'area di rispetto è sempre molto difficile da definire. Infatti nelle zone urbane i corsi d'acqua sono normalmente regimati e quindi questa linea corrisponde ad altri elementi quali testate di muri, recinzioni o direttamente edifici; in quelle extraurbane normalmente la vegetazione nasconde la linea che definisce la fine della sponda.

Metodo proposto

Come già precedentemente detto è importante realizzare strumenti che consentano un'integrazione delle diverse basi dati sopra descritte e permettano così da un lato di garantire un flusso dati per l'aggiornamento del DBT e dall'altro consentano di effettuare tutti i controlli incrociati tra le varie banche dati ai fini di normalizzare le stesse e individuare situazioni anomale. La soluzione proposta non è la mera fornitura di un *software* se pur all'avanguardia, ma un metodo integrato di gestione delle informazioni che permette di supportare l'Ente nella normalizzazione e nel mantenimento del patrimonio informativo. Questa integrazione degli OGGETTI→ATTRIBUTI ha come scopo ultimo il supporto agli operatori per la definizione del flusso informativo e il recupero economico-finanziario. Questo metodo può essere categorizzato in:

- Componente *software*
- Componente dati e integrazione
- Bonifica dati
- Mantenimento e aggiornamento dati
- Supporto e formazione

Componente *software*

La componente GIS utilizzata dal gruppo di lavoro, non è un semplice visualizzatore, in ambiente *open*, che permette la rappresentazione delle informazioni territoriali su una base cartografica più o meno precisa, ma uno strumento di analisi molto potente. Infatti è un applicativo *webGIS* per la gestione di indirizzi, numeri civici, il collegamento con l'anagrafe, PGT, catasto, cartografia numerica e permette di visualizzare, interrogare, stampare il DB topografico, il catasto, il Piano Regolatore e altri dati geografici disponibili nel Comune e di gestire inoltre tutte le informazioni connesse agli accessi, al numero civici, ai fabbricati catastali ed unità volumetriche della cartografia numerica.

Di seguito un elenco delle principali funzioni e strumenti:

- tramite un collegamento ai dati dell'anagrafe, è possibile, per gli utenti abilitati, interrogare i residenti di un edificio cliccando semplicemente sull'edificio;
- la funzione di sincronizzazione tra la componente territoriale e il sistema delle anagrafi garantisce la consistenza tra le due banche dati;
- *import* dei dati catastali direttamente dal formato messo a disposizione della AdT Provinciale;
- *import* del PRG o del PGT per i Comuni il cui iter Amministrativo è concluso;

- verifica della congruità della struttura del PGT, secondo le specifiche di Regione Lombardia contenute nel documento “Schema fisico Tavole di Previsioni”;
- funzioni avanzate per creare un collegamento fra carta tecnica, catasto, Piano Regolatore, numeri civici e residenti;
- calcolo e stampa del Certificato di Destinazione Urbanistica (CDU);
- rototraslazione delle particelle catastali, per ovviare ai problemi di corrispondenza tra le varie basi cartografiche;
- integrazione con la componente gestionale Halley per avere a disposizione i dati tributari (ICI, TARSU), delle pratiche edilizie e dei residenti direttamente dall'interfaccia geografica;
- stampa, reportistica, *import* ed *export* di dati;
- possibilità di inserire nuovi progetti, per registrare eventuali modifiche alla base cartografica su un *layer* separato.

Tutte queste funzionalità permettono al Comune di gestire in maniera integrata catasto, base cartografica aerofotogrammetrica e strumenti urbanistici, consentendo tutte quelle operazioni necessarie per una corretta gestione di queste banche dati. Tutte le modifiche vengono salvate e storicizzate, in modo da permettere un aggiornamento delle banche dati alla base dell'applicativo in qualsiasi momento, e in questo modo di non perdere il collegamento con i dati originali. Infine tramite la funzione di inserimento di progetti, è possibile creare un flusso informativo per mantenere aggiornato il *database* topografico, che sarà coadiuvato da un servizio di rilievo ed *editing* del DBT da parte di un partner del gruppo specializzato.

Mantenimento e aggiornamento dati

I dati territoriali non sono più riconducibili ad una semplice cartografia tecnica, bensì consistono in un *database* Territoriale tridimensionale, pronto in ogni momento ad essere interrogato riguardo ai propri contenuti geometrici (aree, volumi e sviluppi di edifici, strade, aree verdi ecc), nonché ad essere interrogato ed a contenere nuove informazioni collegate (informazioni anagrafiche, urbanistiche, catastali ecc); in sostanza il DBT del Comune sta prendendo le sembianze di un grande ed unico contenitore che include tutte le informazioni utili agli uffici comunali. Si intuiscono quindi la necessità e al tempo stesso l'utilità di mantenere il DBT aggiornato con continuità nel tempo; se nell'epoca passata gli Enti potevano tollerare l'utilizzo di una carta tecnica vecchia di alcuni anni, oggi non possiamo certo permetterci un disallineamento dei dati geografici rispetto alle banche dati collegate.

La soluzione proposta prevede una precisa e codificata procedura di manutenzione dei dati geografici, pensata per essere gestita di pari passo con la manutenzione dell'intero sistema.

Il primo passo della procedura prevede la gestione delle pratiche edilizie, già nota agli uffici tecnici comunali, tramite il *software* Gis sopra descritto, con modalità standardizzate riguardo al flusso dei dati dai professionisti all'ufficio tecnico del Comune.

In estrema sintesi e a solo scopo conoscitivo, trattandosi di un'operazione eseguita in *background*, la successiva procedura prevede di operare gli aggiornamenti cartografici tramite altri strumenti di *import*, *export* ed *editing* dei dati dello stesso *software* *WebGis*, in maniera assolutamente impercettibile da parte dei fruitori dei servizi. Tali operazioni devono essere eseguite da tecnici esperti di cartografia aerofotogrammetrica, procedendo all'analisi e alla gestione di ogni singola pratica edilizia, per individuare gli elementi di trasformazione del territorio e tradurli, nel rispetto di tutte le normative sopra descritte all'interno del Data Base Topografico.

Con cadenza più diradata nel tempo, e con il supporto di Ditte specializzate del settore, saranno inoltre operati dei voli aerofotogrammetrici finalizzati a:

- produrre l'ortofoto del territorio;
- operare la verifica geometrica degli elementi inseriti con metodi non aerofotogrammetrici;
- ricercare gli abusi edilizi;
- ricercare eventuali elementi modificati e non intercettati dalle pratiche edilizie.

Conclusioni

L'integrazione del sistema delle anagrafi con il livello informativo legato al territorio permette una interessante armonizzazione di informazioni territoriali in genere archiviate in modo indipendente. La struttura del dato non è semplicemente uniformabile in quanto, se è pur vero che esiste un rapporto 1:1 fra le UIU principali e i residenti, non esiste nessun parametro di controllo per i non residenti e gli edifici minori o produttivi. A tal fine è necessario che nelle attività di bonifica siano attivate sinergie con i detentori del dato. Il risultato è la correttezza del dato e la diffusione di informazioni certe e verificabili.

Riferimenti bibliografici

- Legge Regionale 11 marzo 2005, n. 12. Legge per il governo del territorio (B.U.R.L. n. 11 del 16 marzo 2005, 1° s.o.)
- Geoportale di Regione Lombardia: <http://www.cartografia.regione.lombardia.it/geoportale>
- Direttiva 2007/2/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 14 marzo 2007 che istituisce un'Infrastruttura per l'informazione territoriale nella Comunità europea (Inspire)
- Sito R3 GIS dedicato all'applicativo R3 UrbanTools: www.r3-gis.com/urbantools
- Sito di Halley Lombardia: www.halleylombardia.it

Individuazione precoce dello stress idrico e nutrizionale in agricoltura da immagini iperspettrali

C. Panigada (*), C. Cilia (*), L. Busetto (*), R. Colombo (*), M. Meroni (**),
S. Amaducci (***), M. Rossini (*), S. Cogliati (*), M. Boschetti (****), V. Picchi (****),
A. Marchesi (*****), T. Julitta (*), M. Palladino (*****), G. D'Urso (*****)

(*) Laboratorio di telerilevamento delle dinamiche ambientali, DISAT, Università Statale Milano-Bicocca
Piazza della Scienza 1, 20126 Milano, Email: cinzia.panigada@unimib.it, chiara.cilia@gmail.com,
lorenzo.busetto@unimib.it, roberto.colombo@unimib.it, micol.rossini@unimib.it,
sergio.cogliati@unimib.it, tommaso.julitta@gmail.com

(**) Institute for the Environment and Sustainability, Joint Research Center (JRC), Via Fermi 2749
TP 266, 21027 ISPRA (VA), Email: michele.meroni@jrc.ec.europa.eu

(***) Istituto di Agronomia, Genetica e Colture erbacee, Facoltà di Agraria, Università cattolica del Sacro Cuore
Via Emilia Parmense 84, 29122 Piacenza, Email: stefano.amaducci@unicatt.it
(****) CNR-IREA, Via Bassini 15, Milano, Email: boschetti.m@irea.cnr.it

(*****) Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura – CRA, Research Unit for Agri-Food Processes
Via G. Venezian 26, 20133 Milano, Email: valentina.picchi@entecra.it

(*****) Laboratorio di Remote Sensing (L@RS), Dip. BEST, Politecnico di Milano
Piazza Leonardo da Vinci 32, 20133 Milano Italy, Email: andrea.marchesi@polimi.it

(*****) Dipartimento di Ingegneria Agraria e Agronomia del Territorio, Università degli Studi di Napoli Federico II
Corso Umberto I 40, 80138 Napoli, Email: mpalladi@unina.it, durso@unina.it

Riassunto

In questo contributo sono presentati i risultati preliminari di un esperimento condotto nell'ambito delle campagne *ESA fluorescence 2010*, parte del progetto EDOCROS (Early Detection Of CROp Stress) supportato dal programma europeo EUFAR (European Facility For Airborne Research project) e finanziato dal progetto AXiA (Università e Impresa per la ricerca) per l'individuazione dello stress idrico e nutrizionale in agricoltura mediante tecniche di telerilevamento iperspettrale. La ricerca ha previsto l'allestimento di un campo sperimentale di circa due ettari suddiviso in 48 parcelle di mais e sorgo con trattamenti irrigui e nutrizionali differenziati. Le colture sono state monitorate nel loro sviluppo fenologico fino ai sorvoli aerei effettuati il 19 e 20 luglio 2010 durante i quali sono state acquisite immagini iperspettrali con i sensori CASI 1500 (Itres, Canada), AHS-160 (Sensytech Inc., USA) e AISA Eagle (Specim, Finland). L'acquisizione delle immagini è avvenuta contemporaneamente ad una campagna a terra in cui sono state acquisite misure di parametri biofisici e fisiologici della vegetazione in ogni parcella sperimentale. Si presentano i risultati dell'analisi dell'immagine AISA in corrispondenza delle parcelle di mais. In particolare sono stati testati diversi indici ottici tra cui il PRI (Photochemical Reflectance Index) (Gamon et al., 1992), relazionato all'efficienza fotosintetica della vegetazione, e indici correlati al contenuto di clorofilla e alla biomassa, al fine di valutarne le potenzialità nell'individuazione di stati di stress idrico e nutrizionale delle colture. L'analisi statistica dei dati di campo e l'analisi di regressione tra dati di campo e indici ottici hanno permesso di individuare il TCARI/OSAVI (Haboudane et al., 2008a; Haboudane et al., 2002) quale indicatore di deficit nutrizionale e il PRI quale indicatore di deficit idrico. Sono state prodotte mappe di PRI e TCARI/OSAVI al fine di evidenziare le aree del campo sperimentale a maggiore criticità.

Abstract

In the framework of ESA Fluorescence campaigns 2010, the EDOCROS (Early Detection Of CROp Stress) campaign, supported by EUFAR (European Facility For Airborne Research project) was aimed to detect early crop stress due to water and nitrogen (N) deficit, by means of advanced hyperspectral remote sensing techniques. CASI 1500 (Itres, Canada), AISA Eagle (Specim, Finland) and AHS-160 (Sensytech Inc., USA) imageries were acquired contemporarily to an intensive field campaign where vegetation biophysical and ecophysiological measurements were collected. Preliminary results of the analysis conducted on AISA Eagle imagery acquired on corn plots are presented and discussed. Different vegetation indices related to photosynthetic efficiency (i.e. Photochemical Reflectance Index – PRI) (Gamon et al., 1992), to leaf chlorophyll content and canopy biomass were calculated and tested in order to select best indicators of nutritional and water stress. It was shown that TCARI/OSAVI (Haboudane et al., 2008a; Haboudane et al., 2002) is the best indicator of nutritional stress while PRI is the best indicator of water stress. TCARI/OSAVI and PRI were mapped on the study area and critical stress situations were evidenced.

Introduzione

Lo studio delle proprietà ottiche della vegetazione ed in particolare della sua firma spettrale, mediante tecniche di telerilevamento, rappresenta un metodo ormai consolidato di monitoraggio ambientale. La riflettanza spettrale della vegetazione è fonte di informazione sul suo stato chimico, fisico e sulle sue proprietà fisiologiche. Si osserva infatti che la riflettanza di foglie stressate ha caratteristiche diverse dalla riflettanza tipica di foglie sane. Recenti sviluppi nel campo del telerilevamento hanno permesso di individuare anomalie fisiologiche della vegetazione anche precedenti alla comparsa dei sintomi visivi, in una fase quindi precoce dello stress in cui è possibile intervenire per minimizzarne gli effetti dannosi (Meroni et al., 2009; Meroni et al., 2008). L'indice ottico Photochemical Reflectance Index (PRI) (Gamon et al., 1992) rappresenta una promettente tecnica di individuazione precoce di stati di stress essendo relazionato all'efficienza dei processi fotosintetici della pianta (Gamon et al., 1990) che generalmente viene alterata prima della comparsa di clorosi (i.e. depauperamento dei pigmenti fogliari) o della riduzione di biomassa (i.e. *Leaf Area Index* - LAI). Il PRI insieme a indici ottici iperspettrali relazionati ai parametri biochimici (i.e. concentrazione di pigmenti fogliari) e strutturali (i.e. LAI) della pianta permette il monitoraggio della vegetazione nelle sue fasi fenologiche in tempo reale e a scala di paesaggio (Chen et al., 2010; Panigada et al., 2010; Suarez et al., 2008).

L'obiettivo di questa ricerca è stato lo studio di questi indici ottici al fine di individuare un sistema di monitoraggio delle colture cerealicole che permetta un'ottimizzazione dell'utilizzo di acqua per le irrigazioni e di azoto per le concimazioni, mirando ad una gestione ecosostenibile delle risorse. A questo scopo è stata condotta una campagna aerea durante la quale sono state acquisite immagini mediante sensori iperspettrali ottici su un'area sperimentale dove *canopy* di mais sono state sottoposte a diversi trattamenti irrigui e di fertilizzazione. Nella finestra temporale di acquisizione delle immagini telerilevate è stata effettuata un'intensa campagna di misure a terra durante la quale sono stati misurati diversi parametri della vegetazione. In particolare sono stati misurati parametri strutturali, quali il LAI, parametri biochimici, quali il contenuto relativo di clorofilla, l'efficienza fotosintetica effettiva alla luce (i.e. $\Delta F/F_m'$) e l'indice PRI a livello fogliare (PRI_L). L'analisi di questi parametri misurati a terra ha permesso di descrivere lo stato di stress dell'area sperimentale al momento del sorvolo, oltre a fornire i dati necessari per la messa a punto dei modelli di stima dello stato di stress mediante le immagini riprese da aereo e loro validazione.

Materiali e metodi

Disegno sperimentale e misure a terra

Il sito sperimentale è localizzato nell'azienda sperimentale "Vittorio Tadini" a Gariga di Podenzano, Piacenza. Il sito è costituito da quattro blocchi (repliche sperimentali) per un totale di 2 ha circa.

Ogni blocco è costituito da 12 parcelle (6 parcelle di mais e 6 parcelle di sorgo) di dimensione 16.5 m x 15 m. Ciascun blocco è stato suddiviso in tre sotto-blocchi costituiti ciascuno da 4 parcelle contigue lungo la direzione N-S, di cui due coltivate a mais e due a sorgo, sottoposti a trattamenti di irrigazione differenti assegnati in modo casuale (non irrigato, irrigato ma con deficit idrico imposto in un breve intervallo temporale nella fase fenologica della levata, irrigato a piena capacità di campo, rispettivamente IRR0, IRR1, IRR2), utilizzando un sistema di irrigazione a goccia. La posizione dei tre trattamenti all'interno dei diversi blocchi è stata assegnata casualmente. Le due parcelle coltivate a mais e le due parcelle coltivate a sorgo presenti in ciascun sotto-blocco sono state a loro volta sottoposte a differente fertilizzazione (non fertilizzato e fertilizzato con 100 Kg ha⁻¹ di azoto (N), rispettivamente N0 e N1). La posizione dei due trattamenti di fertilizzazione all'interno del sotto-blocco è stata assegnata casualmente. Il disegno sperimentale utilizzato si configura come un tipico disegno di tipo *split plot* nel quale i trattamenti di irrigazione vengono applicati a livello di sotto-blocco, mentre i trattamenti di fertilizzazione vengono applicati a livello di singola parcella (*split plot*). Il mais ed il sorgo sono stati seminati in data 3 giugno 2010, posticipata rispetto alla normale semina di circa 3 settimane. Questo ha permesso la maturazione del mais e del sorgo nel mese di luglio, generalmente più caldo e a minor rischio di precipitazioni, consentendo di massimizzare la differenziazione dei diversi trattamenti irrigui.

Durante i sorvoli effettuati per l'acquisizione delle immagini telerilevate è stata condotta una campagna di misure a terra durante la quale si sono acquisite diverse misure a livello di foglia e di *canopy*. A livello fogliare è stato misurato il contenuto relativo di clorofilla fogliare mediante un sensore SPAD-502 (Minolta, Japan) (Markwell et al., 1995) e l'indice PRI (Photochemical Reflectance Index) mediante il PlantPen 200 (PSI, Czech Republic), radiometro portatile che misura la radianza riflessa dalla foglia illuminata mediante due luci led aventi picco di emissione prossimo alle due lunghezze d'onda utilizzate per il calcolo dell'indice (i.e. 531 nm e 570 nm). Si sono inoltre effettuate misure di fluorescenza della clorofilla *a* mediante un fluorimetro portatile Photosynthesis Yield Analyzer Mini-PAM (Walz, Germany) che permette di valutare la funzionalità del fotosistema II. In particolare è stata calcolata l'efficienza quantica del trasporto di elettroni a livello del fotosistema II, ossia l'efficienza fotochimica effettiva alla luce $\Delta F/F_m'$. Tutte le misure effettuate a livello fogliare hanno interessato l'ultima foglia espansa di un campione significativo di piante consistente in 10, 15 e 20 piante rispettivamente per SPAD, PRI e $\Delta F/F_m'$, campionate casualmente nei centri parcella.

In ognuna delle parcelle sperimentali si sono inoltre misurati parametri della *canopy* quali il LAI calcolato a partire dalle misure di radiazione fotosinteticamente attiva intercettata dalla vegetazione mediante un ceptometro Delta-T SunScan System.

Acquisizione e pre-elaborazione dei dati telerilevati

Le immagini telerilevate da piattaforma aerea utilizzate nell'ambito di questo lavoro sono state acquisite in data 20/07/2010 alle ore 12:37 UTC (*Coordinated Universal Time*), volando in direzione del sole (piano principale), mediante il sensore AISA Eagle (Specim, Finland). Le principali caratteristiche delle immagini acquisite sono riassunte in tabella 1.

Sensore	Range Spetttrale (nm)	N° Bande	FWHM (nm)	Risoluzione al suolo (m)	Ora di Volo (UTC)	Angolo di Zenith solare (°)	Direzione di volo
AISA Eagle	394-968	244	2.3	1.0	12:37	29	Piano solare principale

Tabella 1 – Principali caratteristiche delle immagini AISA Eagle; FWHM (*Full Width at Half Maximum*).

Le immagini sono state sottoposte ad un processo di calibrazione radiometrica, che ha permesso di convertire i valori di DN registrati in valori di radianza al sensore, espressi in $\mu\text{W cm}^{-2} \text{ste}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$. Successivamente, i dati sono stati georiferiti utilizzando il software CaliGeo (Spectral Imaging Ltd., Finland), che ha permesso di georeferenziare con grande precisione le immagini a partire dai dati acquisiti dal sensore GPS e dal sensore inerziale integrati nel sistema AISA. In figura 2 viene mostrata la porzione di immagine relativa al sito sperimentale così come appare sull'immagine originale (figura 2 a) e su quella georiferita (figura 2 b). La georeferenziazione ha inoltre permesso di identificare con notevole accuratezza i punti di misura delle variabili biochimiche misurate a terra durante il sorvolo aereo (i.e. croci verdi in figura 2 b).

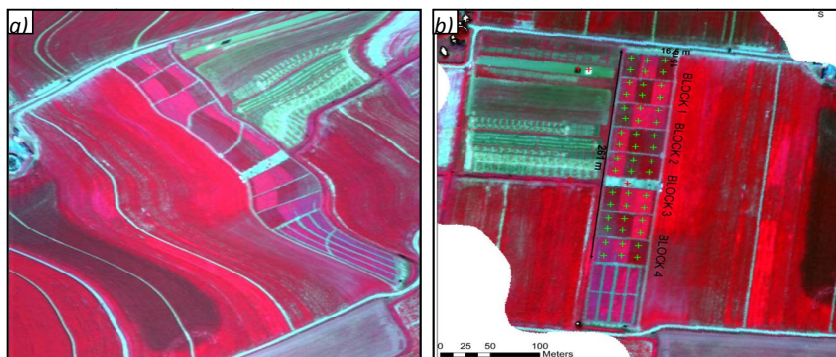


Figura 2 – a) Porzione dell'immagine AISA originale comprendente l'area di studio;
b) Porzione dell'immagine AISA georiferita. Le croci verdi rappresentano i centri parcella in corrispondenza dei quali sono state effettuate le misure di campo.

Le immagini georiferite sono state successivamente sottoposte ad un processo di calibrazione spettrale utilizzando il software SpecCal v.1.2 (Busetto et al. 2011; Meroni et al., 2010), al fine di determinare le reali lunghezze d'onda e ampiezze delle diverse bande di acquisizione. Infine, le immagini sono state corrette atmosfericamente utilizzando un approccio di tipo *empirical line* basato su firme di riflettanza acquisite a terra in corrispondenza di diversi target (i.e. pannello bianco, pannello nero, asfalto, suolo nudo). In figura 3 sono mostrate, a titolo di esempio, le firme spettrali relative ad una delle parcella coltivate a mais e ad un'area a suolo nudo, ricavata a partire dai dati AISA corretti atmosfericamente.

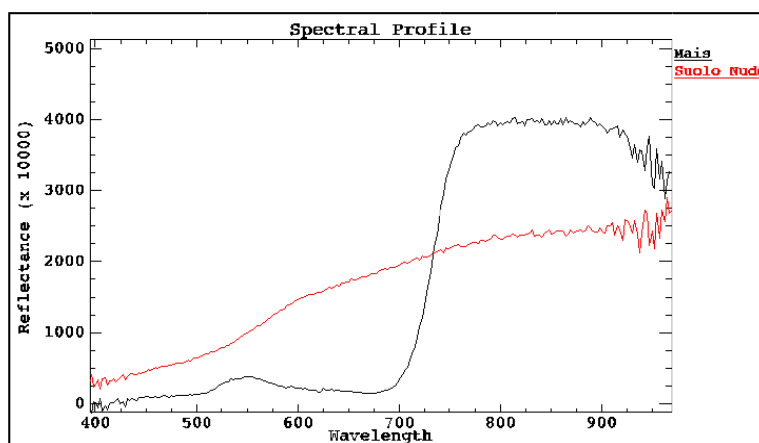


Figura 3 – Esempi di firme spettrali ricavate a partire dalle immagini AISA corrette atmosfericamente per una parcella coltivata a mais e per un suolo nudo.

Calcolo degli indici di vegetazione e analisi statistica

Le immagini acquisite e corrette sono state utilizzate per il calcolo di indici ottici iperspettrali noti in letteratura perché ben relazionati con diversi parametri strutturali e biochimici della vegetazione (Haboudane et al., 2008a). Per ogni parcella di mais sono stati estratti i valori di riflettanza ottenuti come media dei valori dei nove pixel del centro parcella (9 m²), corrispondenti all'area campionata nelle misure di campo. Le firme spettrali così ottenute sono state utilizzate per il calcolo degli indici di vegetazione riportati in tabella 4. Gli indici indagati comprendono indici relazionati alla biomassa verde (i.e. *greenness*), indici relazionati alla concentrazione di pigmenti fogliari e indici relazionati all'efficienza fotosintetica.

L'analisi statistica dei dati misurati a terra e dei dati telerilevati ha permesso di valutare la loro variabilità in funzione dello stress imposto (deficit idrico e nutrizionale). Essendo parzialmente violate le condizioni per l'analisi della varianza (ANOVA) (i.e. normalità dei dati ed omogeneità delle loro varianze) si è preferito procedere con analisi di tipo non parametrico. In particolare è stato utilizzato il test di Kruskal-Wallis, che stabilisce se esistono differenze tra i gruppi di dati divisi sulla base del trattamento applicato, seguito dal test U di Mann-Whitney con il quale è possibile stabilire quali gruppi sono diversi sulla base di un confronto degli stessi a coppie.

Un'analisi di regressione di tipo OLS (*ordinary least squares*) tra gli indici calcolati e il valore medio dei parametri vegetazionali misurati a terra (i.e. LAI, SPAD, PRI_L e $\Delta F/F_m'$) è stata condotta allo scopo di individuare gli indici maggiormente relazionati ai parametri influenzati dallo stress idrico e nutrizionale in piante di mais. La scelta degli indici è stata effettuata confrontando i coefficienti di determinazione (R²). Successivamente si è proceduto alla loro mappatura in corrispondenza di tutte le parcelle di mais del sito sperimentale.

Categoria	Indice	Formula	Riferimento
Efficienza fotosintetica	PRI	$(R_{531}-R_{570})/(R_{531}+R_{570})$	(Gamon et al., 1992)
	SIPI	$(R_{800}-R_{445})/(R_{800}-R_{680})$	(Penuelas et al., 1995)
Pigmenti fogliari	TCARI	$3*[(R_{700}-R_{670})-0.2*(R_{700}-R_{550})*(R_{700}/R_{670})]$	(Haboudane et al., 2002)
	TCARI/OSAVI	TCARI/OSAVI	(Haboudane et al., 2002)
	TCARI/MSAVI	TCARI/MSAVI	(Haboudane et al., 2002)
	MTCI	$(R_{753.75}-R_{708.75})/(R_{708.75}-R_{681.25})$	(Dash and Curran, 2004)
	MTCI/MSAVI	MTCI/MSAVI	(Haboudane et al., 2008)
	TCI	$1.2*(R_{700}-R_{550})-1.5*(R_{670}-R_{550})*(R_{700}/R_{670})^{0.5}$	(Haboudane et al., 2008)
Greenness	TCI/OSAVI	TCI/OSAVI	(Haboudane et al., 2008)
	NDVI	$(R_{800}-R_{670})/(R_{800}+R_{670})$	(Rouse et al., 1974)
	OSAVI	$(R_{800}-R_{670})/(R_{800}+R_{670}+0.16)$	(Rondeaux et al., 1996)
	MSAVI	$0.5* \{ 2*R_{800}+1-[(2*R_{800}+1)^2-8*(R_{800}-R_{670})]^{0.5} \}$	(Qi et al., 1994)

Tabella 4 – Formulazione e riferimento bibliografico degli indici ottici calcolati.

Risultati

L'analisi dei dati biochimici, strutturali e fisiologici misurati a terra nelle parcelle sperimentali ha permesso di individuare gli effetti dello stress idrico e nutrizionale sullo sviluppo delle piante di mais. In tabella 5a vengono riportate le statistiche dei diversi parametri raggruppati per livello di concimazione, in tabella 5b per livello di irrigazione. Dall'analisi statistica risulta che lo stress idrico e lo stress nutrizionale influenzano tutti i parametri misurati, sebbene non sempre in modo significativo. In particolare si osserva che, con l'aumentare del livello di irrigazione, i parametri LAI e SPAD aumentano in modo significativo solo in parcelle concimate (N1). In tali parcelle il LAI presenta valori maggiori in IRR1 e IRR2 rispetto a IRR0. I dati di SPAD mostrano invece valori maggiori in IRR2 rispetto a IRR1 e IRR0. Questo fa presupporre che parcelle IRR1, sebbene simili alle IRR2 dal punto di vista del LAI, si differenzino da queste ultime nel contenuto di clorofilla, nonostante la differenza percentuale sia minima (i.e. riduzione del contenuto relativo di

clorofilla del 3.6% in IRR1). Differenze percentuali maggiori si osservano nelle misure di PRI_L che rilevano variazioni significative anche nel caso di parcelle non concimate (N0). Essendo i valori di PRI relazionati in modo inversamente proporzionale al rapporto tra carotenoidi e clorofilla (Garbulsky et al., 2011; Stylinski et al., 2002), si può ipotizzare che il differenziamento nel valore dell'indice in piante appartenenti a parcelle non concimate - in cui il contenuto di clorofilla non si differenzia - sia dovuto alla presenza di un *pool* maggiore di pigmenti fotoprotettivi. Come previsto i valori minimi dell'indice si rilevano in parcelle sottoposte a forte stress idrico e nutrizionale (i.e. IRR0 N0). Analogamente al PRI_L , la fluorescenza $\Delta F/Fm'$ mostra variazioni significative in parcelle N0, confermando il loro potenziale utilizzo quali indicatori precoci di stress idrico in una fase precedente la diminuzione di biomassa e la clorosi fogliare.

Per quanto riguarda gli effetti del livello di concimazione si osserva che le misure di SPAD e di LAI sono le più coerenti con il trattamento imposto, mostrando valori più bassi in parcelle N0 in tutti i trattamenti irrigui. Il parametro SPAD risulta il più sensibile allo stress nutrizionale mostrando significatività statistica tra i due trattamenti in piante IRR2. La mancanza di significatività statistica in IRR0 e IRR1 viene spiegata con il fatto che la disponibilità di azoto è determinante nell'incremento di clorofilla totale soltanto in presenza di buona irrigazione, essendo la disponibilità di acqua il principale fattore limitante per il mais (Di Paolo and Rinaldi 2008).

(a)	N0			N1		
Parametro	IRR0	IRR1	IRR2	IRR0	IRR1	IRR2
LAI	1.44	2.27	2.67	1.56 b (-48%)	2.77 a (-8%)	3.00 a
SPAD	48.26	46.43	49.12	50.43 b (-7.4%)	52.86 b (-3.6%)	54.45 a
$PRI_L (* 10^3)^{(1)}$	2.609 b (-67%)	7.942 a (+1%)	7.857 a	0.436 b (-92%)	3.133 a (-45%)	5.662 a
$\Delta F/Fm' (* 10^3)^{(1)}$	365.188 b (-16%)	401.787 b (-7%)	433.690 a	412.285	388.620	395.433

(b)	IRR0		IRR1		IRR2	
Parametro	N0	N1	N0	N1	N0	N1
LAI	1.44	1.56	2.27	2.77	2.67	3.00
SPAD	48.26	50.43	46.43	52.86	49.12 b (-9 %)	54.45 a
$PRI_L (* 10^3)^{(1)}$	2.609	0.436	7.942	3.133	7.857	5.662
$\Delta F/Fm' (* 10^3)^{(1)}$	365.188 b (-11%)	412.285 a	401.787	388.620	433.690 a (+9%)	395.433 b

Tabella 5 – Statistiche dei parametri misurati in campo su parcelle di mais. a) Suddivisione in base al livello di irrigazione. b) Suddivisione in base al livello di concimazione. I valori riportati corrispondono alla mediana, il valore di p al risultato del test di Kruskal-Wallis. In caso di significatività statistica ($p \leq 0.10$) il test di Mann-Whitney ha permesso di stabilire come si differenziano i gruppi, come indicato dalle lettere. Viene inoltre riportata la differenza percentuale rispetto al trattamento condotto in assenza di stress (IRR2, per quanto riguarda lo stress idrico e N1 per quanto riguarda lo stress nutrizionale). ⁽¹⁾ Misure effettuate alle 14.30 UTC

L'analisi di regressione tra gli indici di vegetazione calcolati a partire dall'immagine AISA e i parametri misurati a terra ha permesso di individuare l'indice meglio relazionato a PRI_L e $\Delta F/Fm'$ quale indicatore di stress idrico e quello meglio relazionato ai valori di SPAD quale indicatore di stress nutrizionale. I risultati dell'analisi di regressione sono mostrati in tabella 6. L'indice PRI si è dimostrato ben relazionato al PRI_L ($R^2 = 0.43$) e alla fluorescenza $\Delta F/Fm'$ ($R^2 = 0.49$). Sebbene altri indici analizzati (i.e. OSAVI, NDVI, MSAVI) presentino prestazioni simili al PRI, quest'ultimo comunque ha mostrato migliori correlazioni con $\Delta F/Fm'$ nel caso di parcelle N0 ($PRI R^2 = 0.61$,

OSAVI $R^2 = 0.51$, NDVI $R^2 = 0.52$, MSAVI $R^2 = 0.51$). Questo conferma la maggiore capacità del PRI di rilevare variazioni dello stato fisiologico della vegetazione sottoposta a stress idrico, che precedono variazioni biochimiche o strutturali, cosa che lo rende più adatto rispetto agli altri indici nell'individuazione precoce di stati di stress, confermando recenti risultati in letteratura (Sarlikioti et al., 2010; Suarez et al., 2010). Per quanto riguarda la relazione con il contenuto relativo di clorofilla (i.e. SPAD) sono stati testati diversi indici. In tutti i casi si è osservato un notevole miglioramento nelle regressioni se tali indici sono combinati in rapporti con indici di tipo SAVI, che normalizzano per l'effetto del suolo, confermando i risultati di Haboudane et al. (2008a; b). L'indice TCARI/OSAVI ha mostrato allo stesso tempo la migliore relazione con il parametro SPAD ($R^2 = 0.66$) minimizzando l'influenza del LAI ($R^2 = 0.21$), rivelandosi il più adatto indicatore per individuare stati di stress nutrizionale come evidenziato nella più recente letteratura (Chen et al., 2010).

Categoria	Indice	LAI	SPAD	PRI _L	$\Delta F/F_m'$
Efficienza fotosintetica	PRI	0.65***	n.s.	0.43***	0.49***
	SIPI	0.62***	n.s.	0.44***	0.45***
Pigmenti fogliari	TCARI	n.s.	0.43***	n.s.	n.s.
	TCARI/OSAVI	0.21*	0.66***	n.s.	n.s.
	TCARI/MSAVI	0.37**	0.58***	0.17*	0.27**
	MTCI	0.50	0.48***	0.23*	0.38**
	MTCI/MSAVI	n.s.	0.50***	n.s.	n.s.
	TCI	0.23**	0.21**	0.18*	0.16*
	TCI/OSAVI	n.s.	0.56***	n.s.	n.s.
Greenness	NDVI	0.69***	n.s.	0.45***	0.48***
	OSAVI	0.68***	n.s.	0.44***	0.48***
	MSAVI	0.67***	n.s.	0.42***	0.48***

Tabella 6 – Coefficienti di determinazione (R^2) e significatività (* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, n.s. = non significativa) delle regressioni tra parametri misurati in campo (i.e. LAI, SPAD, PRI_L, $\Delta F/F_m'$) e indici di vegetazione calcolati dall'immagine.

In figura 7 vengono mostrate le mappe di PRI e di TCARI/OSAVI prodotte in corrispondenza del sito sperimentale. L'indice TCARI/OSAVI è stato moltiplicato per (-1) al fine di rendere il suo valore direttamente proporzionale al contenuto relativo di clorofilla. L'intervallo dei valori di ogni mappa prodotta è stato suddiviso in otto classi di uguale ampiezza, visualizzate con colori dal rosso al verde scuro per valori crescenti dell'indice. Bassi valori dell'indice, corrispondenti ai colori rosso, arancione e giallo, rappresentano quindi le situazioni di maggiore criticità. La mappa dell'indice PRI (Figura 7 b) ben evidenzia le parcelle sottoposte a stress idrico cronico (i.e. IRR0) che assumono valori bassi dell'indice, identificati dalla prevalenza di classi in arancio e giallo. Si osserva che anche le parcelle IRR1 presentano valori dell'indice minori rispetto alle parcelle irrigate a piena capacità di campo (IRR2). Sebbene nelle regressioni l'indice mostri una relazione significativa con il LAI ($R^2 = 0.65$), dalla mappa di PRI si osservano diversi casi in cui a parità di LAI le parcelle si differenziano per valore di PRI e tali differenze sono imputabili alla carenza di irrigazione: è il caso ad esempio delle parcelle 6 e 36 ($LAI = 1.4 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$), 4 e 22 ($LAI = 2.6 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$), 8 e 19 ($LAI = 3.1 \text{ m}^2\text{m}^{-2}$). Questo conferma la bontà del PRI come indicatore precoce di stati di stress idrico. La mappa dell'indice TCARI/OSAVI (figura 7 c) risulta ben relazionata alla carenza di azoto. In parcelle non irrigate la mappa non mostra differenze tra le concimazioni in accordo con l'analisi statistica sui dati a terra.

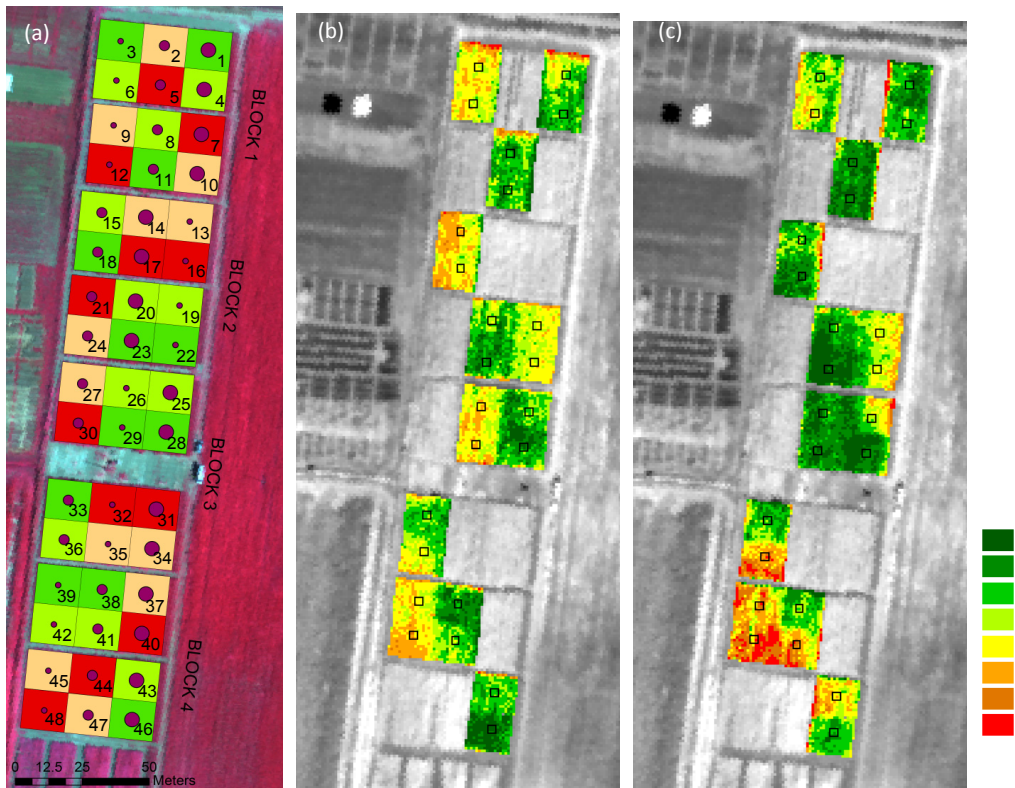


Figura 7 – (a) Schema sperimentale, in verde chiaro e scuro parcelle di mais N0 e N1, rispettivamente. I cerchi di diverso diametro rappresentano il livello di irrigazione, dal più piccolo al più grande, indicando irrigazione crescente, IRR0, IRR1 e IRR2. (b) Mappa di PRI. (c) Mappa di TCARI/OSAVI.

Il confronto visivo delle mappe di PRI e di TCARI/OSAVI evidenzia la diversa informazione contenuta nei due indici. Questa è confermata dall'analisi statistica effettuata sui valori delle mediane degli indici PRI e TCARI/OSAVI calcolati a livello di intera parcella (tabella 8). L'indice PRI fornisce un ottimo risultato dal momento che rileva differenze nei trattamenti irrigui all'interno di entrambi i livelli di concimazione (tabella 8 a). L'indice TCARI/OSAVI si conferma invece relazionato allo stress nutrizionale. Si osserva che in tutti i casi le mediane dell'indice assumono valori minori in corrispondenza di parcelle non concimate (N0). Le differenze sono significative solo nel caso di parcelle irrigate (IRR2), in accordo con i dati di campo di SPAD (tabella 8 b).

(a)	N0			N1		
	IRR0	IRR1	IRR2	IRR0	IRR1	IRR2
PRI	-0.064 b	-0.044 ab	-0.029 a	-0.066 b	-0.025 a	-0.007 a
-(TCARI/OSAVI)	-0.123	-0.125	-0.116	-0.119	-0.102	-0.094

(b)	IRR0		IRR1		IRR2	
	N0	N1	N0	N1	N0	N1
PRI	-0.064	-0.066	-0.044	-0.025	-0.024	-0.010
-(TCARI/OSAVI)	-0.123	-0.119	-0.125	-0.102	-0.116 b	-0.094 a

Tabella 8 – Analisi statistica effettuata sui valori di PRI e TCARI/OSAVI sulle parcelle di mais. a) Suddivisione in base al livello di irrigazione. b) Suddivisione in base al livello di concimazione. In entrambi i casi i valori riportati corrispondono alla mediana. In caso di significatività statistica ($p \leq 0.10$) il test di Mann-Whitney ha permesso di stabilire come si differenziano i gruppi, come indicato dalle lettere.

Conclusioni

In questo lavoro sono state indagate le potenzialità del telerilevamento iperspettrale per il monitoraggio di situazioni di deficit idrico e/o nutrizionale in colture cerealicole quali il mais. In particolare sono stati testati diversi indici iperspettrali relazionati a parametri biochimici, strutturali e fisiologici della vegetazione. L'acquisizione di immagini iperspettrali su un campo sperimentale costituito da parcelle di mais cresciute con diversi trattamenti irrigui e nutrizionali ha permesso lo studio ed il confronto delle diverse tecniche indagate al fine di produrre mappe di deficit di acqua e nutrienti. L'analisi statistica delle misure di campo è stata effettuata al fine di relazionare la loro variabilità ai fattori di stress imposti. L'analisi di regressione tra misure di campo e indici ottici iperspettrali ha permesso di individuare il PRI quale indicatore più sensibile allo stress idrico e il TCARI/OSAVI allo stress nutrizionale, che si manifesta solo in caso di adeguato apporto di acqua nel campo, confermando che lo stress idrico è il fattore più limitante nella crescita del mais. Le mappe prodotte sono il primo passo verso la creazione di mappe di prescrizione di acqua e di azoto, obiettivo principale in un contesto di agricoltura di precisione. La metodologia messa a punto e validata nel sito sperimentale rappresenta un innovativo approccio verso un utilizzo più razionale ed ecosostenibile della risorsa idrica e delle concimazioni azotate.

Ringraziamenti

Questo progetto è stato finanziato da Axia (CRUI-Nestlé - Università e Impresa per la ricerca). La campagna di misure a terra è parte del progetto EDOCROS sponsorizzato da EUFAR (European Facility For Airborne Research project) Transnational Access project. Si desidera ringraziare D. Bigogno, B. Di Mauro, M. Ferretti (DISAT-UNIMIB, Milano), M. Musanti (IREA-CNR, Milano) e M. Bergonti (Università Cattolica di Piacenza) per il supporto nella campagna di misura a terra.

Bibliografia

- Busetto L., Meroni M., Crosta G.F., Guanter L., Colombo R. (2011), "SpecCal: Novel software for in-field spectral characterization of high-resolution spectrometers", Computers & Geosciences, In Press, Corrected Proof.
- Chen P., Haboudane D., Tremblay N., Wang J., Vigneault P., Li B. (2010), "New spectral indicator assessing the efficiency of crop nitrogen treatment in corn and wheat", Remote Sensing of Environment, 114:1987-1997.
- Dash J., Curran P.J. (2004), "The MERIS terrestrial chlorophyll index", International Journal of Remote Sensing, 25:5403-5413.
- Di Paolo E., Rinaldi M. (2008), "Yield response of corn to irrigation and nitrogen fertilization in a Mediterranean environment", Field Crops Research, 105:202-210.
- Gamon J.A., Penuelas J., Field C.B. (1992), "A narrow-waveband spectral index that tracks diurnal changes in photosynthetic efficiency", Remote Sensing of Environment, 41:35-44.
- Gamon J.A., Field C.B., Bilger W., Bjorkman O., Fredeen A.L., Penuelas J. (1990), "Remote-Sensing of the Xanthophyll Cycle and Chlorophyll Fluorescence in Sunflower Leaves and Canopies", Oecologia, 85:1-7.
- Garbulsky M.F., Penuelas J., Gamon J., Inoue Y., Filella I. (2011), "The photochemical reflectance index (PRI) and the remote sensing of leaf, canopy and ecosystem radiation use efficiencies A review and meta-analysis", Remote Sensing of Environment, 115:281-297.
- Haboudane D., Tremblay N., Miller J.R., Vigneault P. (2008a), "Remote estimation of crop chlorophyll content using spectral indices derived from hyperspectral data", Ieee Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 46:423-437.
- Haboudane D., Tremblay N., Miller J.R., Vigneault P. (2008b) Estimation of plant chlorophyll using hyperspectral observations and radiative transfer models: Spectral indices sensitivity and crop-type effects, IGARSS 2008 - 2008 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Ieee, Boston, MA., pp. III:569-III:572.

- Haboudane D., Miller J.R., Tremblay N., Zarco-Tejada P.J., Dextraze L. (2002), "Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture", *Remote Sensing of Environment*, 81:416-426.
- Markwell J., Osterman J.C., Mitchell J.L. (1995), "Calibration of the Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter", *Photosynthesis Research*, 46:467-472.
- Meroni M., Panigada C., Rossini M., Picchi V., Cogliati S., Colombo R. (2009), "Using optical remote sensing techniques to track the development of ozone-induced stress", *Environmental Pollution*, 157:1413-1420.
- Meroni M., Picchi V., Rossini M., Cogliati S., Panigada C., Nali C., Lorenzini G., Colombo R. (2008), "Leaf level early assessment of ozone injuries by passive fluorescence and photochemical reflectance index", *International Journal of Remote Sensing*, 29:5409-5422.
- Meroni M., Busetto L., Guanter L., Cogliati S., Crosta G.F., Migliavacca M., Panigada C., Rossini M., Colombo R. (2010), "Characterization of fine resolution field spectrometers using solar Fraunhofer lines and atmospheric absorption features", *Applied Optics*, 49:2858-2871.
- Panigada C., Rossini M., Busetto L., Meroni M., Fava F., Colombo R. (2010), "Chlorophyll concentration mapping with MIVIS data to assess crown discoloration in the Ticino Park oak forest", *International Journal of Remote Sensing*, 31-12: 3307-3332.
- Penuelas J., Baret F., Filella I. (1995), "Semiempirical Indexes to Assess Carotenoids Chlorophyll-a Ratio from Leaf Spectral Reflectance", *Photosynthetica*, 31:221-230.
- Qi J., Chehbouni A., Huete A.R., Kerr Y.H., Sorooshian S. (1994), "A Modified Soil Adjusted Vegetation Index", *Remote Sensing of Environment*, 48:119-126.
- Rondeaux G., Steven M., Baret F. (1996), "Optimization of soil-adjusted vegetation indices", *Remote Sensing of Environment*, 55:95-107.
- Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W., Harlan J.C. (1974) *Monitoring the Vernal Advancements and Retro Gradation of Natural Vegetation*, NASA/GSFC Final Report Greenbelt, MD, USA. pp. 371.
- Sarlikioti V., Driever S.M., Marcelis L.F.M. (2010), "Photochemical reflectance index as a mean of monitoring early water stress", *Annals of Applied Biology*, 157:81-89.
- Stylinski C.D., Gamon J.A., Oechel W.C. (2002), "Seasonal patterns of reflectance indices, carotenoid pigments and photosynthesis of evergreen chaparral species", *Oecologia*, 131:366-374.
- Suarez L., Zarco-Tejada P.J., Sepulcre-Canto G., Perez-Priego O., Miller J.R., Jimenez-Munoz J.C., Sobrino J. (2008), "Assessing canopy PRI for water stress detection with diurnal airborne imagery", *Remote Sensing of Environment*, 112:560-575.
- Suarez L., Zarco-Tejada P.J., Gonzalez-Dugo V., Berni J.A.J., Sagardoy R., Morales F., Fereres E. (2010), "Detecting water stress effects on fruit quality in orchards with time-series PRI airborne imagery", *Remote Sensing of Environment*, 114:286-298.

Interfaccia Economica Territoriale (IET): governance, conoscenza e accountability nei processi di pianificazione territoriale della PAT¹

Luca Paolazzi

Provincia Autonoma di Trento², P.zza Dante 15, 38100 Trento
0461 497069, luca.paolazzi@gmail.com

La conoscenza, intesa come selezione consapevole e gestione di informazioni, costituisce una componente essenziale di ogni processo decisionale, in particolar modo per quelli a carattere pianificatorio. La tesi è che nella dimensione della decisione urbanistica e socio-economica pubblica la creazione e la diffusione di conoscenza - nonché la misurazione del fenomeno territoriale - risultano essere strategiche al fine dei processi di selezione delle scelte di piano, costituendo sia un elemento chiave di supporto alla decisione che un elemento di giustificazione ed oggettivizzazione della stessa, ponendosi quindi come condizione di un guadagno di *accountability* imprescindibile nel quadro delle *public policies*.

L'Interfaccia economica territoriale (IET) nasce per aggregare dati territoriali a dati di natura socioeconomica su base georiferita, con lo scopo di integrare la definizione ed il monitoraggio degli obiettivi di pianificazione urbanistica con quelli di programmazione socioeconomica e supportare le strutture di pianificazione provinciali e decentrate nei processi di pianificazione, monitoraggio e valutazione delle decisioni urbanistiche. Obiettivo primario di IET è quello di garantire a tutti gli attori coinvolti nei processi di governo del territorio l'accesso a indicatori e dati di carattere territoriale, economico, sociale ed ambientale, cioè a conoscenza da inserire nei processi decisionali a carattere pianificatorio e programmatico. Il sistema dovrà cioè garantire al *policy making* l'apporto di informazioni oggettive sulle possibili strategie di pianificazione, permettendo al contempo il monitoraggio dello stato di avanzamento delle scelte definite dagli strumenti di pianificazione urbanistica e territoriale ad ogni livello di governo.

IET si colloca nel processo di ristrutturazione della funzione di governo del territorio trentino in senso di governance. Con l'approvazione della legge provinciale n. 3 del 16 giugno 2006 "Norme in materia di governo dell'autonomia del Trentino", infatti, la Provincia Autonoma di Trento (PAT) ha istituito, mediante la perimetrazione di nuovi enti denominati Comunità di Valle (CdV), un livello di governo intermedio a Comuni e Provincia. Le CdV si configurano quali enti territoriali associativi di comuni aventi per scopo la razionalizzazione del sistema amministrativo trentino, da realizzarsi mediante la gestione associata di funzioni e l'attivazione di economie di scopo e di scala. La riforma nasce al fine di dare una realizzazione sostanziale ai principi di sussidiarietà ed adeguatezza, nel tentativo di governare la frammentazione dell'ordinamento comunale ed ovviare all'assenza di un ente di area vasta. Si è così venuta a creare una nuova struttura di governance, intesa come un sistema di distribuzione delle competenze e del potere tra un numero variabile di attori significativi, la quale pone, come corrispettivo dei vantaggi derivanti dall'attivazione di gestioni associate e dal trasferimento sul territorio della gestione dell'attività amministrativa, forti problemi di coordinamento ed *accountability*, sia nei rapporti tra decisore e *decision making* sia, esternamente, tra Giunta e Consiglio ed eletti ed elettori.

¹ Provincia Autonoma di Trento

² Progetto speciale per l'attuazione della riforma istituzionale

Il nuovo ente è stato inoltre identificato quale attore principale della pianificazione urbanistica e territoriale, della programmazione socio-economica e della definizione degli obiettivi strategici di sviluppo locale per ogni sistema territoriale individuato dalla legge di riforma. Ciò attraverso il trasferimento in capo ai nuovi enti della competenza amministrativa e di governo delle funzioni inerenti la pianificazione del territorio provinciale e la gestione dei servizi sociali ed abitativi. In linea con la struttura normativa e cognitiva della legge di riforma istituzionale, infatti, la gestione della funzione urbanistica è stata ristrutturata, decentrandola, attorno ai tre livelli di governo dell'ordinamento trentino. Il nuovo Piano urbanistico provinciale (PUP) definisce le macro tendenze dello sviluppo territoriale provinciale, gli obiettivi di lungo periodo e le strategie attraverso le quali raggiungerli; definisce inoltre un quadro conoscitivo aggregato relativo alle dinamiche socio-economiche e territoriali; pone il riconoscimento delle identità specifiche di ogni singolo sistema di area vasta alla base dei processi di pianificazione e compila un elenco contenente le cosiddette "invarianti", cioè gli elementi che, per vocazione o pregio e in quanto sostanzianti l'identità dell'intera collettività trentina, saranno tolti alla disponibilità della pianificazione subordinata.

All'interno di tale quadro si è poi provveduto a trasferire ai territori, rappresentati dagli enti esponenziali di livello intermedio e di prossimità, il compito di governare e pianificare, ciascuno in base alle proprie esigenze e specificità, il territorio provinciale, approfondendo il quadro territoriale ed urbanistico tracciato dal PUP e dal Programma di sviluppo provinciale.

In un quadro caratterizzato da una forte complessità istituzionale ed amministrativa e dalla riorganizzazione delle competenze a carattere pianificatorio e programmatico, l'elemento conoscitivo riveste un'importanza strategica. L'efficacia nella definizione, l'implementazione e la valutazione degli obiettivi di piano dipende fortemente dalla possibilità per il *decision maker* di disporre di dati, informazioni, strumenti e capacità per tradurre le stesse in conoscenza riferibile all'oggetto della funzione, in tal caso il territorio da un lato e la struttura socio-demografica ed economica della comunità dall'altro. Alle difficoltà insite in un processo decisionale a carattere pianificatorio/programmatico e riconducibili alla teoria della razionalità limitata, sia individuale che istituzionale, si aggiungono, nel caso in oggetto, le difficoltà legate al processo di ristrutturazione istituzionale e culturale dei decisori.

Una pianificazione basata sulla conoscenza risulta indispensabile per garantire uno sviluppo sostenibile sia dal punto di vista territoriale che socio-economico; la conoscenza, intesa come selezione, raccolta, gestione ed uso consapevole del capitale informativo, diviene così l'input principale dei processi di pianificazione e governo del territorio.

La creazione e la diffusione di conoscenza e la misurazione del fenomeno territoriale risultano essere funzioni strategiche al fine dei processi di selezione delle scelte di piano e costituiscono non solo un elemento chiave di supporto alla decisione ma anche un elemento di giustificazione ed oggettivizzazione della stessa, ponendosi quindi come condizione imprescindibile per un guadagno di *accountability*.

Nel contesto su definito, allo scopo di supportare i nuovi enti e garantire allo stesso tempo la coerenza tra i diversi livelli di pianificazione e programmazione, la Provincia Autonoma di Trento in collaborazione con la Fondazione Bruno Kessler ha sviluppato il sistema Interfaccia Economica territoriale (IET). Il sistema sarà accessibile via web e garantirà in questo modo la diffusione di una base conoscitiva territoriale e di strumenti di analisi omogenei sul territorio. I dati, gli indicatori e gli strumenti di analisi del sistema IET dovranno supportare le strutture di pianificazione provinciali e decentrate nei processi di pianificazione/programmazione nonché permettere, grazie al suo accesso pubblico, una maggior trasparenza e democraticità nell'accesso pubblico ai dati ed alle analisi territoriali.

Gli obiettivi primari a cui IET risponde sono:

- fornire al processo di pianificazione territoriale un capitale informativo statistico e geografico omogeneo a tutti i livelli di governo;

- divenire il punto di collegamento tra più flussi di informazioni ad oggi non collegati e spesso disomogenei, facenti riferimento gli uni ai processi di pianificazione urbanistica e gli altri a quelli di programmazione socio-economica, attraverso la sistematizzazione di una banca dati statistica e una geografica;
- implementare un set di strumenti per l'organizzazione, la condivisione, l'analisi statistica e il *geoprocessing* di dati statistici e geografici e per la loro trasformazione in conoscenza sulle dinamiche territoriali;
- automatizzare la disponibilità di indicatori di varia natura utili al fine della valutazione strategica dei Piani urbanistici e territoriali; monitorare lo stato di avanzamento del raggiungimento degli obiettivi strategici di piano;
- garantire, tramite la creazione di conoscenza, la verifica di coerenza sia interna (tra obiettivi e scelte) sia esterna (tra obiettivi di pianificazione territoriale ed obiettivi di programmazione socio-economica) agli strumenti di pianificazione urbanistica.

Il rapporto definito dalla riforma istituzionale tra il livello di pianificazione aggregato e quello di area vasta è di tipo biunivoco. Da un lato il livello di pianificazione e programmazione provinciale definisce gli obiettivi strategici e gli standard quali-quantitativi vincolanti per ogni ente di governo, oltre a definire gli indirizzi quadro e le misure di valutazione e rendicontazione vincolanti per i livelli di governo subordinati. Dall'altro si è trasferita sul territorio, in capo ai nuovi enti, la titolarità della gestione delle funzioni amministrative in forma associata nonché la competenza alla definizione degli obiettivi di sviluppo territoriale e socio-economica di area vasta. In tal senso i piani territoriali e i programmi socio-assistenziali e abitativi di Comunità da una parte traducono gli indirizzi determinati dagli strumenti di governo provinciali sulla base delle specifiche esigenze territoriali; dall'altra definiscono, mediante la loro aggregazione, il vettore di aggiornamento e rinnovamento dei medesimi piani/programmi provinciali. Questi saranno in sintesi il frutto delle visioni e delle decisioni di governo assunte sul territorio, coordinate in uno strumento strategico di indirizzo verso il quale orientare tutti gli attori, pubblici e privati, operanti sul territorio.

In tale quadro l'elemento conoscitivo acquista un valore strategico sia da un punto di vista decisionale che di coordinamento. Se da un lato una pianificazione e programmazione efficace ed efficiente non può prescindere dalla conoscenza, dall'altro il flusso di informazioni diviene il veicolo per la trasmissione di conoscenza dai piani di area vasta a quelli provinciali, cioè dal territorio al livello di governo superiore, nonché input fondamentale delle situazioni decisionali di tutti gli attori istituzionali. Solo il flusso continuo, standardizzato, omogeneo e accessibile di dati, nonché la loro traduzione in conoscenza mediante strumenti di analisi e il loro utilizzo nel calcolo di indicatori, può garantire una pianificazione/programmazione su tre livelli di governo che sia al tempo stesso coerente e coordinata ma anche partecipata, sostenibile e sussidiaria.

IET si configura in tal senso come una piattaforma conoscitiva integrata di dati geografici e statistici, corredata di strumenti di analisi statistica e *geoprocessing*, accessibile e fruibile mediante un'interfaccia grafica *open-source* applicata on-line e per tanto disponibile a tutti gli enti aventi competenze di governo del territorio, indipendentemente dalle loro dotazioni tecniche e finanziarie, aggiornabile ed integrabile sia in chiave *top-down* che *bottom-up*. IET è cioè l'*hub* all'interno del quale convogliare sia i flussi di dati riferibili alla pianificazione provinciale, sia i flussi territoriali (dati comunali e di comunità) attraverso i quali integrare ed aggiornare i piani provinciali con una conoscenza prodotta e riferibile a specifici fenomeni territoriali. A ciò si aggiunge la capacità dello strumento di automatizzare il calcolo di indicatori multi variabile posti, via intesa tra i livelli di governo, alla base di tutte le analisi per la costruzione dei riferimenti conoscitivi sui quali basare le scelte di piano. Gli stessi indicatori, aggiornati e storicizzati, consentiranno altresì l'istituzionalizzazione di strumenti di valutazione e rendicontazione strategica sia in-itinere che ex-post. In tal senso IET diventa non solo un contenitore ma anche un produttore di conoscenza reinseribile nei processi decisionali e valutativi.

Nello specifico, un'interfaccia grafica permetterà di accedere via web ad un insieme di dati e indicatori statistici e geografici validati. Questi forniranno informazioni oggettive sulle possibili strategie di pianificazione, permettendone il monitoraggio e l'analisi comparata, e supportandone quindi la selezione. Ogni dato è corredato da una scheda metadato, visualizzabile ed interrogabile sulla mappa, automaticamente organizzato in classi statistiche ed analizzabile tramite grafici e tabelle. Tutto quello che è prodotto o analizzabile nella sessione di lavoro è anche scaricabile in locale, stampabile o salvabile on-line.

Infine un'apposita sezione di lavoro garantisce l'automazione di calcolo di una lunga serie di indicatori, selezionati tramite *focus group* dai metodologi del Servizio Urbanistica e Tutela del Paesaggio della PAT. In particolare il sistema, una volta interrogato, restituisce all'utente direttamente il valore dell'indicatore selezionato, essendo già implementato l'algoritmo ed automatizzata la selezione dei dati necessari al calcolo. Ogni dato ed indicatore è già validato dai Servizi provinciali responsabili dello stesso. Il numero degli indicatori e dei dati non è definitivo, essendo il sistema costantemente aggiornabile con dati ed indicatori di volta in volta necessari alla misurazione dei fenomeni rilevati. Ogni utente può inoltre, in sessione di lavoro temporanea, inserire nel sistema propri dati territoriali o statistici e calcolare, tramite un percorso guidato, un nuovo indicatore.

Gli utenti saranno organizzati sulla base di tre ruoli (amministratore, dipendente pubblico, cittadino) a ciascuno dei quali corrisponderà una certa libertà di utilizzo del sistema. In tal modo IET dovrebbe garantire una larga e poco dispendiosa diffusione di dati e conoscenza, la validazione degli stessi e l'automazione di calcolo di indicatori standard obbligatori alla valutazione dei fenomeni territoriali e del processo pianificatorio. Ma ancora più importante, IET garantirà la produzione di un capitale informativo omogeneo sul territorio provinciale. In tal modo esso contribuirà in maniera strategica al coordinamento delle decisioni pianificatorie provinciali e di area vasta, tramite l'omogeneizzazione delle premesse decisionali e della conoscenza territoriale.

Il continuo ed automatico aggiornamento del sistema renderà fruibile e continuo l'aggiornamento degli indicatori e ciò garantirà il monitoraggio in-itinere dei valori scelti come parametri in fase di redazione del Piano e del Rapporto di valutazione strategica. Critico sarà, per la riuscita del progetto, da un lato lo sviluppo di una nuova cultura istituzionale e del pianificatore nell'approccio ai sistemi informativi e alla valutazione delle proprie azioni e, dall'altra, il coordinamento dei vari Dipartimenti provinciali nell'aggiornamento ed organizzazione dei dati di cui sono proprietari. La soluzione di tali criticità farà di IET il punto di incontro tra flussi di dati ad oggi disomogenei. Esso garantirà in sostanza il coordinamento tra tutte le spinte ed i vettori di decisione relative al governo del territorio, garantendo la sistematizzazione di numerosi processi decisionali tutti diretti alla trasformazione, allo sviluppo o alla conservazione e alla regolazione del territorio, sia esso antropizzato o libero.

Sezioni di lavoro:

- **Geografica:** la sezione geografica raccoglie più di 100 layer in formato shapefile e raster riferibili a tutti gli strumenti di pianificazione provinciale: Piano urbanistico provinciale, Carta di uso del suolo, Carta tecnica topografica, Carta delle risorse idriche e di sintesi idrogeologica. Si aggiungono a questi tematismi di varia natura (edifici, catasto, servizi ecc.), due ortofoto e il *Digital terrain model*. A questi dati si aggiungeranno quelli relativi alla pianificazione, alla zonizzazione e alla destinazione d'uso dei suoli comunali e di Comunità, permettendo così in un unico strumento la sinterizzazione di tutti gli elementi conoscitivi riferibili alla pianificazione multilivello e la valutazione reciproca di coerenza sia interna che esterna al piano. L'organizzazione, la visualizzazione e il processing dei dati è reso possibile dall'applicazione on-line di strumenti derivati dai software GIS.

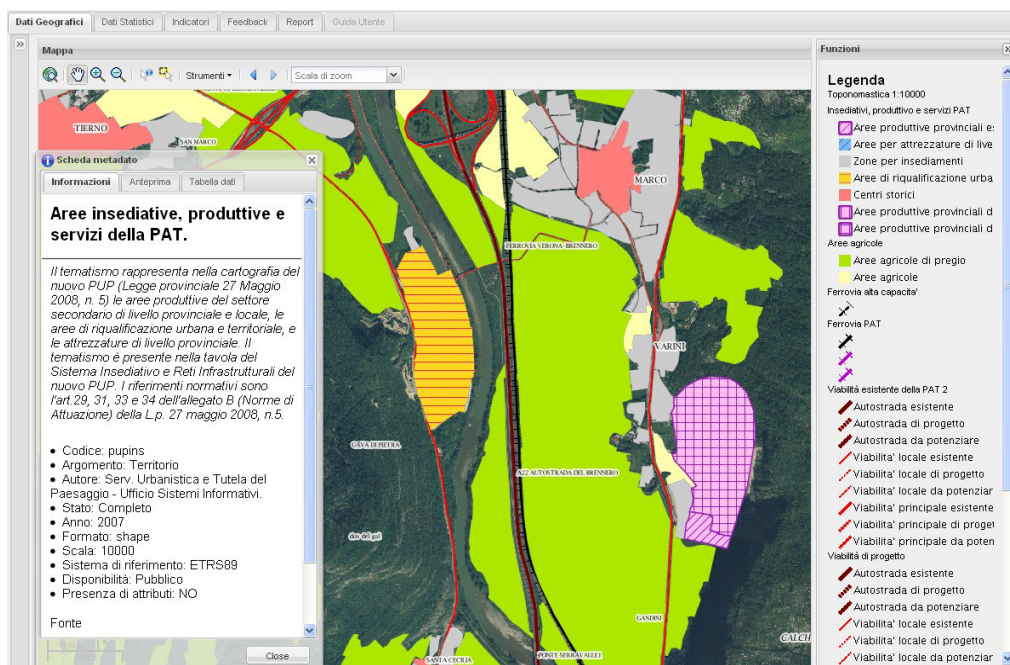


Figura 1 – IET, sezione geografica.

- **Statistica:** sono raccolti in un database statistico tutti i dati di ordine demografico, economico, occupazionale, socio-assistenziale, turistico, ambientale, edificiale ed infrastrutturale concordati tra i vari livelli di governo al fine di rendere IET la piattaforma ufficiale di riferimento per i processi pianificatori e programmatori e rendere omogenee le informazioni conoscitive sulle quali basare la pianificazione di area vasta. Una serie di strumenti di analisi (creazione dinamica di grafici, tabelle e animazioni multi variabile), georeferenziazione e di esportazione dei dati permette altresì via web l'organizzazione e la trasformazione dei dati, nonché la loro diffusione.

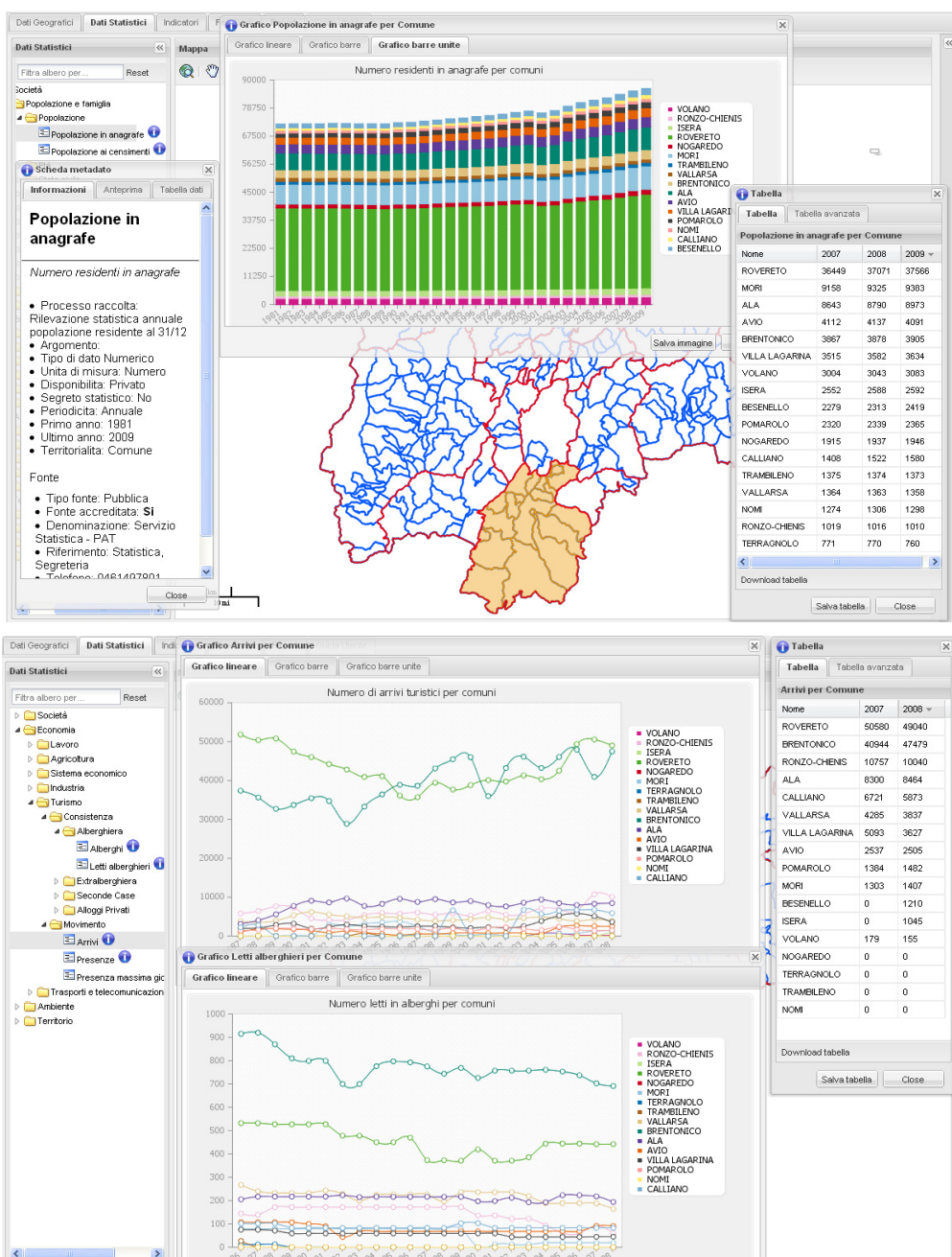


Figure 2 e 3 – IET, sezione statistica.

- **Indicatori:** una specifica sezione consente la creazione e la stabilizzazione di indicatori multivariabili in serie storica, costruiti mediante l'utilizzo dei dati sia geografici che statistici presenti nei database. Sono integrati in questa sezione gli strumenti già elencati nella sezione statistica.

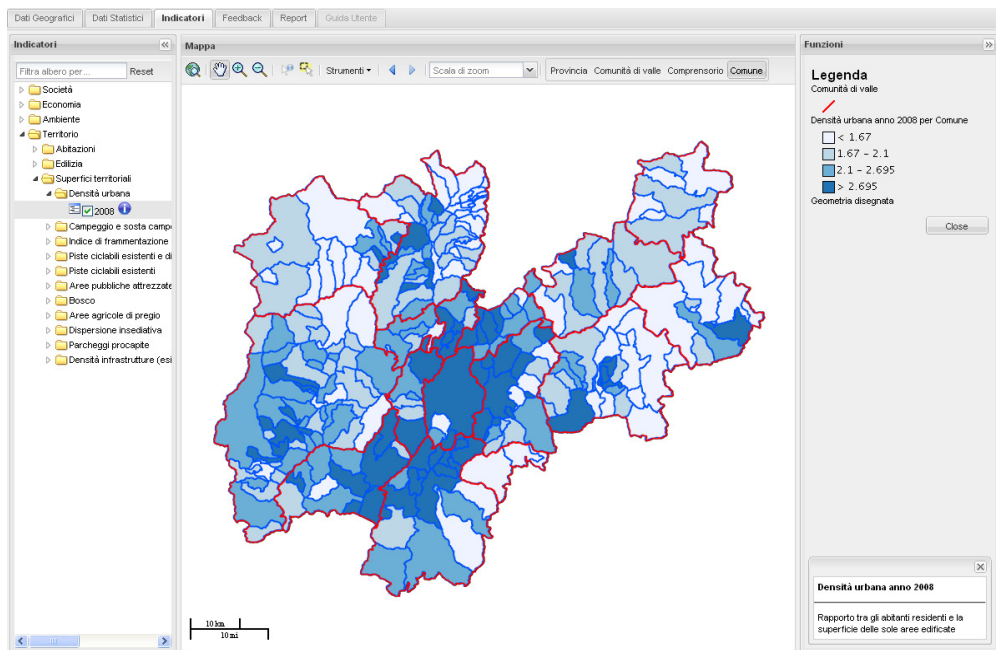


Figura 4 – IET, sezione indicatori.

- A ciò si aggiungono una serie di strumenti integrati per la creazione di reportistica, stampa e diffusione e flusso multilivello della conoscenza, nonché, in un ambiente wiki, per la creazione di una knowledge-based community e un'area di scambio di esperienze e best-practice. Tale sistema permetterà inoltre lo svilupparsi di logiche di imitazione e competizione collaborativa, essenziali nello sviluppo di un sistema di governance come quello creato dalla riforma istituzionale trentina.

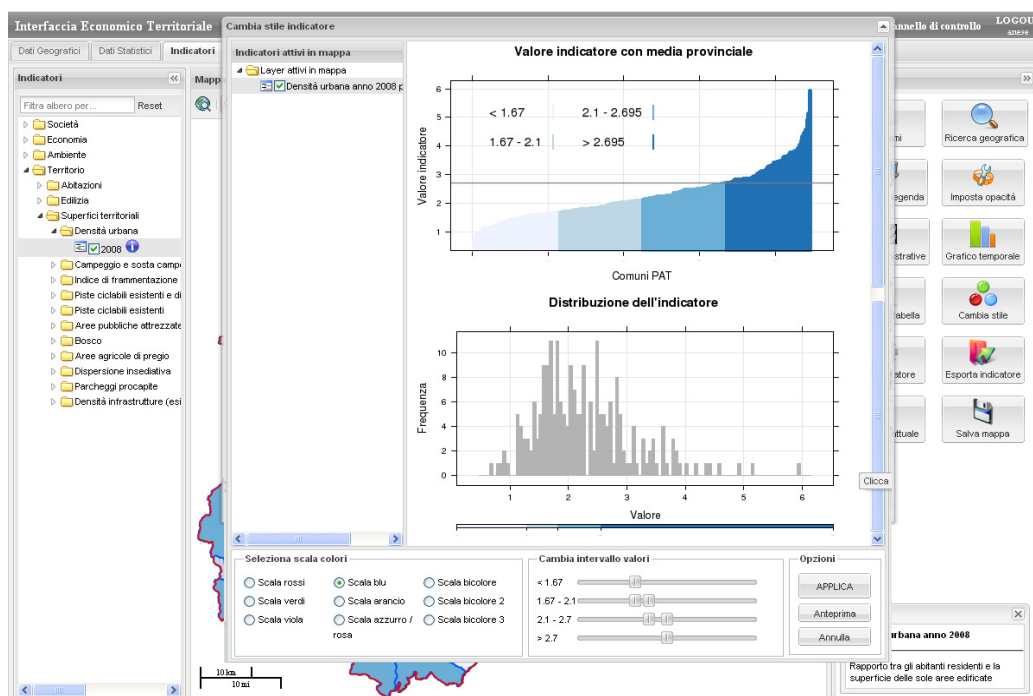


Figura 5 – IET, sezione indicatori.

Esempio applicativo: con deliberazione della Giunta provinciale si è chiesto alle Comunità di valle, nell'ambito dell'avvio della programmazione sociale ed abitativa provinciale e di area vasta e alla luce del trasferimento della competenza stessa in capo alle Comunità, di elaborare una serie di dati ed indicatori standard al fine di procedere alla determinazione del dimensionamento e dei costi standard relativi ai servizi medesimi. I dati e gli indicatori diverranno così la base conoscitiva comune dalla quale originare le scelte programmatiche sia a livello di Comunità che, aggregate, a livello provinciale. Al fine di omogeneizzare gli algoritmi di calcolo degli indicatori e la fonte dei dati statistici, è stato utilizzato IET sia per il reperimento dei dati che per l'automatizzazione di calcolo degli indicatori, delle tabelle e dei grafici in serie storica richiesti. Allo stesso modo si è chiesto alle Comunità che i dati di loro proprietà vengano reinseriti in IET al fine di completare il flusso dal territorio al livello superiore di governo e poter quindi avviare la redazione del Piano provinciale sulla base delle rilevazioni dei bisogni svolte sul territorio.

Da questo esempio rilevano i vantaggi derivanti dall'utilizzo di uno strumento integrato e sistemico applicato via web, quale IET, su processi decisionali di carattere pianificatorio/programmatico multilivello nei quali l'elemento conoscitivo riveste un'importanza strategica e prioritaria.

In sintesi IET è uno strumento per il territorio capace di integrare informazioni geografiche e statistiche a supporto dei processi di pianificazione e valutazione strategica, in grado di supportare i decisori e fare sintesi tra i vari strumenti di governo del territorio. La sua natura, *open-source* e online, ne permette altresì il facile utilizzo ed accesso, andando così a garantire non soltanto un flusso di informazioni istituzionale ma anche un più facile accesso alla partecipazione dei cittadini ed un recupero in termini di trasparenza ed *accountability* sul processo decisionale.

A livello di processo esso è poi il frutto di una forte collaborazione e partnership tra ente pubblico e fondazione di ricerca, dove l'investimento finanziario e l'indirizzo dell'una hanno permesso, grazie alle capacità innovative dell'altra, una soluzione efficace al problema della diffusione e del recupero di conoscenza sul e dal territorio.

La creazione di capitale conoscitivo e informativo è un obiettivo fondamentale per la pianificazione. La misurazione dei fenomeni territoriali risulta sempre più strategica nei processi di pianificazione/programmazione ed è alla base del modello conoscitivo sul quale originano le scelte di piano. L'utilizzo degli indicatori, pur non rappresentando completamente la complessità dei sistemi territoriali, permette di integrare in un'unica metodologia analitica un gran numero di variabili, rendendo le decisioni pianificatorie più aggiornabili, simulabili, confrontabili e modulabili, e garantendo così un supporto strategico al decision making.

In questo senso IET dovrebbe garantire l'omogeneizzazione degli strumenti di analisi territoriale - fondamentale in un sistema di governo caratterizzato dalla frammentazione delle competenze in materia di pianificazione - e rendere maggiormente accessibili i processi di valutazione strategica anche agli enti locali privi, per dimensione, di struttura tecnica predisposta. Esso dovrebbe inoltre aumentare il coordinamento tra le scelte dei vari enti di governo del territorio, fornendo a questi un capitale conoscitivo di base unico. Infine, IET dovrebbe permettere, grazie al suo accesso pubblico, una maggior trasparenza e democraticità nell'accesso ai dati ed alle analisi territoriali, e quindi direttamente una maggior propensione alla partecipazione nei processi di pianificazione e valutazione.

In conclusione, IET non si propone di sostituire i *planners* nella selezione delle strategie urbanistiche e socio-economiche ma di garantire, attraverso l'omogeneizzazione degli strumenti di analisi territoriale, un supporto conoscitivo a coloro che sono incaricati di pianificare e trasformare il territorio, l'accesso a banche dati statistiche e territoriali comuni e il monitoraggio, per mezzo di indicatori, dei fenomeni che sul territorio si sostanziano. A questo va aggiunta la maggior trasparenza e accessibilità ai dati e alle analisi territoriali che IET dovrebbe veicolare e, di conseguenza, una maggior valorizzazione e propensione alla partecipazione pubblica nei processi di pianificazione.

Bibliografia

- Bolleyer N., Börzel T.A. (2010), "Non-hierarchical policy coordination in multilevel systems", *European Political Science Review*, 2(2), pp. 157-185
- Camagni R., (1993), "Principi di economia urbana e territoriale", La Nuova Italia Scientifica, Roma.
- Castells M. (2004), "La città delle reti", Marsilio, Venezia
- Dahl R., (2005), "Who governs? Democracy and power in an America City", Yale University Press
- Dente B. (1985), "Governare la frammentazione - Stato, Regioni ed enti locali in Italia", Bologna, Il Mulino
- Foucault M. (1980), "Power/Knowledge", Pantheon Books, New York
- Hess C., Ostrom E. (2007), "Understanding knowledge as a Commons: from theory to practice", MIT Press, Cambridge (MA)
- Lippi A. (2007), "La valutazione delle politiche pubbliche", Il Mulino, Bologna
- Lippi A., Morisi M. (2005), "Scienza dell'amministrazione", Il Mulino, Bologna
- Martini A., Sisti M., (2009), "Valutare il successo delle politiche pubbliche", Il Mulino, Bologna
- Morisi M., (2003), "Pianificare lo spazio", in Morisi M., Magnier A. (a cura di), "Governo del territorio: il modello Toscana", Il Mulino, Bologna
- Morisi M., Magnier A., Russo P., (2007), "Visioni di governo. Piani, strategie e partecipazione nel governo del territorio", Carrocci, Roma.
- Simon H., (2000), "Il comportamento amministrativo", Einaudi, Torino
- Venuti G.C. (1967), "Amministrare l'urbanistica", Einaudi, Torino
- Webster F. (2006), "Theories of information society", Routledge, Londra.
- Zanon B. (1993), "Pianificazione territoriale e gestione dell'ambiente in Trentino", Città studi, Milano

Analisi della correlazione tra deflusso del Po e Clorofilla-a superficiale nel Nord Adriatico

Flavio Parmiggiani (*), Corrado Fragiaco (**)

(*) ISAC-CNR, Via Gobetti 101, 40129 Bologna, Tel. 051 6398009, f.parmiggiani@isac.cnr.it

(**) INOGS, Borgo Grotta Gigante 42/C, 34010 Sgonico (TS), Tel. 040 2140316, cfragiaco@ogs.trieste.it

Introduzione

Il Mare Adriatico è un bacino semichiuso di forma rettangolare. Una comoda rappresentazione del Mare Adriatico, ottenuta da una rotazione di 37° in senso orario attorno al suo baricentro, è una mappa che si estende per 185,2 km (100 nM) nella direzione x e per 666,7 km (360 nM) nella direzione y (vedi Figura 1). Lo studio che viene qui presentato è rivolto al Nord Adriatico (vedi Figura 2) cioè alla metà superiore della mappa di Figura 1. I processi fisici nel Nord Adriatico in rapporto al deflusso del Po sono stati ampiamente investigati negli ultimi decenni, con alcuni esempi rilevanti di questi studi (Kourafalou, 1999; Jeffries, Lee, 2007). Riguardo alla distribuzione di clorofilla-a (Chl-a), un primo classico articolo (Barale et al., 1986), vecchio di oltre 25 anni, analizzò il campo di colore superficiale nel Nord Adriatico mediante immagini degli anni 1979 e 1980 del Coastal Zone Color Scanner (CZCS) a bordo del satellite Nimbus-7.

Dai primi anni 80 del secolo scorso, per circa 15 anni, nessuna immagine da satellite del colore del mare fu più disponibile per la comunità scientifica. La situazione cambiò finalmente nel 1997 con l'arrivo delle immagini del sensore SeaWiFS. Un lavoro recente (Bignami et al., 2007) ha analizzato la variabilità delle acque torbide costali nel Mare Adriatico con immagini SeaWiFS. Nei primi anni del nuovo millennio, con il lancio dei satelliti Terra ed Aqua, sono diventate finalmente disponibili le immagini del nuovo sensore MODIS; il sito 'Oceancolor' della NASA (www.oceancolor.nasa.gov) offre oggi una grande varietà di prodotti di 'colore del mare', dalle immagini di livello 1B in tempo quasi-reale ai prodotti di livello 2 come: Sea Surface Temperature (SST), Chl-a, Atmospheric Optical Thickness (AOT), ecc. Pur se una correlazione tra deflusso del Po e Chl-a nel Nord Adriatico risulta evidente dalle immagini di Chl-a che saranno mostrate nel seguito, scopo di questo lavoro è di fornire una 'misura' matematica di questa correlazione.

Immagini da satellite

Le immagini di Chl-a del Nord Adriatico usate in questo studio provengono dal 'Ocean Colour Data Portal' del Global Environment Monitoring (GEM) Unit, Institute for Environment and Sustainability, Joint Research Centre (JRC), Ispra (Italia). La GEM Unit del JRC mantiene un archivio di prodotti di 'colore del mare' dei mari Europei che si estende su un dominio geografico da 40°W a 55°E e da 10°N a 80°N, e che copre il settore Europeo dell'Oceano Atlantico dall'Artico alle Isole di Capo Verde, il Mare del Nord, il Mar Baltico, il Mar Mediterraneo, il Mar Nero e il Mar Caspio. La serie temporale contiene immagini quotidiane, di 8-giorni e mensili, derivate dal SeaWiFS e dal MODIS, per il periodo che va dal Settembre 1997 ad oggi. Le immagini hanno una risoluzione spaziale approssimata di 2 km e sono ottenute dall'elaborazione delle immagini 'full resolution' e 'top-of-the-atmosphere' disponibili per il dominio. Il processore usato per la produzione dell'archivio è SeaDAS versione 6.2. Tutti i prodotti da satellite della GEM Unit che coprono il Nord Adriatico sono stati calibrati e validati da una serie formidabile di campagne di misura condotte negli ultimi 12 anni presso la stazione Acqua Alta Oceanographic Tower al largo di Venezia (Mélin et al., 2003; Mélin et al., 2005; Zibordi et al., 2006a; Zibordi et al., 2006b).

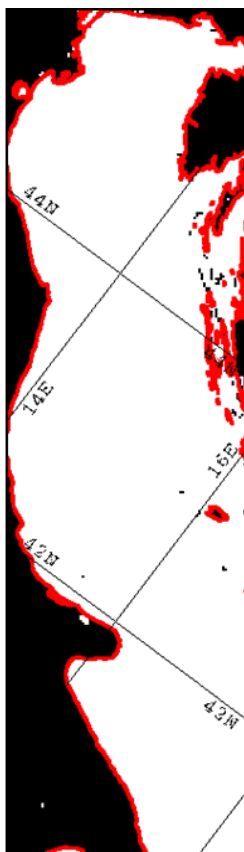


Figura 1 – Mappa del Mare Adriatico ottenuta da una rotazione in senso orario di 37° intorno al suo baricentro.

Tra i diversi prodotti disponibili nell'archivio della GEM Unit, sono state selezionate le immagini composite mensile di Chl-a per il Mar Mediterraneo; queste immagini, a partire dal 2003, sono prodotte usando i soli dati MODIS. L'immagine composita mensile è ottenuta scegliendo, dalle immagini quotidiane, il valore più alto di ogni pixel: questo meccanismo offre il vantaggio di eliminare il più possibile i pixel di nubi. Le immagini, scaricate in formato hdf, sono state ulteriormente elaborate all'ISAC, mediante il software TeraScan (www.seaspace.com), utilizzando una semplice procedura che consiste dei seguenti passi: i) conversione del file hdf a file binario; ii) estrazione, dall'immagine completa, di una sotto-immagine che copre il Nord Adriatico; iii) proiezione della sotto-immagine sul riferimento geografico di Figura 1; iv) selezione della metà superiore della nuova sotto-immagine come mappa del Nord Adriatico (vedi Figura 2). Questo studio copre un periodo di 5 anni, dal 2003 al 2007, e pertanto le immagini scaricate dall'archivio della GEM Unit del JRC sono relative a questo periodo.

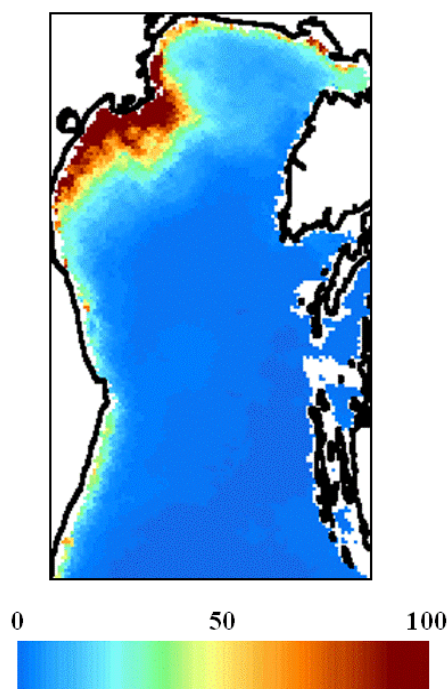


*Figura 2 – Esempio di immagine composita mensile di Chl-a del Nord Adriatico (Maggio 2007).
La scala di colori si riferisce alla concentrazione percentuale di Chl-a dove 100% = 8.5 g/m^3 .*

Risultati

L'elaborazione delle immagini di Chl-a scaricate dal JRC produce, come risultato finale, un insieme di immagini del Nord Adriatico come quella mostrata, a titolo di esempio, in Figura 2. L'immagine è rappresentata come concentrazione percentuale di Chl-a, dove la massima concentrazione (100%) corrisponde a 8.5 g/m^3 . La Chl-a totale nella regione di studio è ottenuta dalla somma della concentrazione di Chl-a in ogni pixel. Questo calcolo è giustificato dal fatto che la concentrazione di Chl-a è essenzialmente una concentrazione superficiale (g/m^2) e la somma del valore di ogni pixel corrisponde, come dimensioni, al prodotto di $\text{g/m}^2 \times \text{m}^2$. Per i 5 anni considerati, la Chl-a mensile totale è riportata in Figura 3A e B; infatti, per una maggiore leggibilità, gli anni dal 2003 al 2007 sono stati suddivisi in due blocchi di tre anni ciascuno: 2003-2005 e 2005-2007. Come era da prevedere, la Figura 3 mostra che i picchi di Chl-a totale si presentano nei mesi primaverili di Maggio e Giugno e nei mesi autunnali di Ottobre e Novembre. Un esempio di sequenza di mappe mensili composite di Chl-a del Nord Adriatico per uno di questi mesi di alta concentrazione, e per i 5 anni considerati, è mostrato in Figura 4.

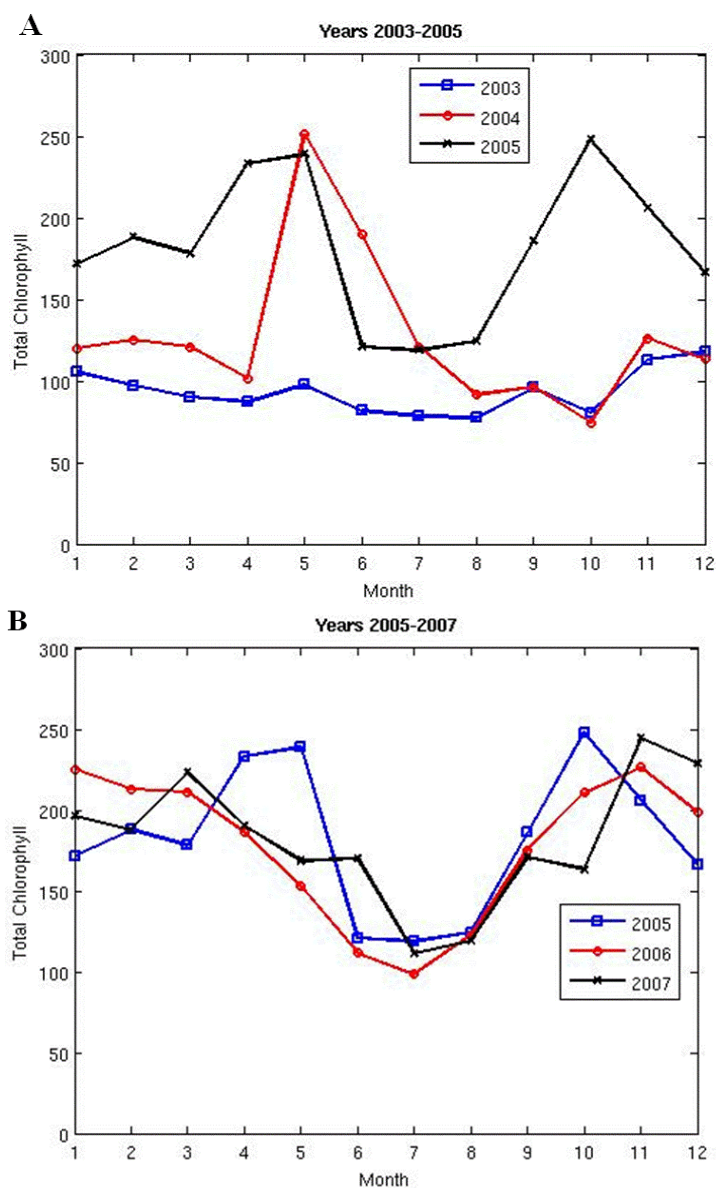
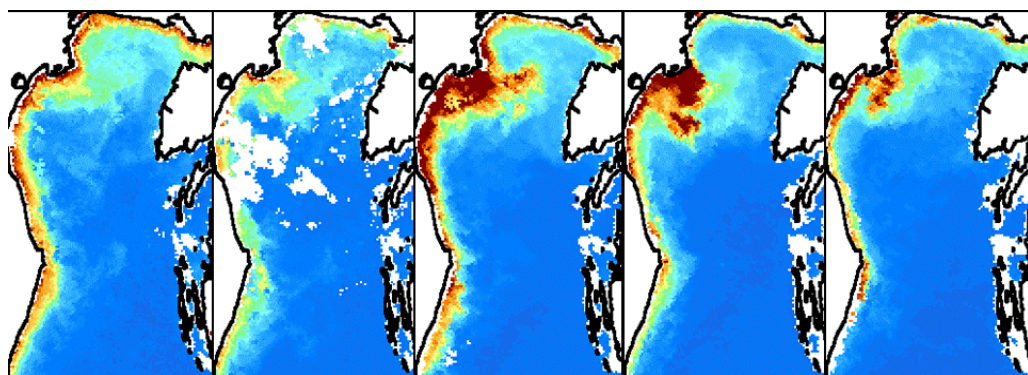


Figura 3 – Chl-a totale nel Nord Adriatico. A: per gli anni 2003-2005; B: per gli anni 2005-2007.

Le immagini di Figura 4 mostrano chiaramente che la Chl-a superficiale si addensa vicino alla foce del Po e che una stretta correlazione deve esistere tra efflusso del Po e Chl-a totale nel Nord Adriatico. Al fine di misurare questa correlazione, dal sito dell'ARPA Emilia-Romagna sono stati scaricati i dati di efflusso medio mensile del Po. L'ARPA Emilia-Romagna pubblica regolarmente le tavole con l'efflusso mensile dei maggiori fiumi della regione. Tra le diverse stazioni elencate nelle tavole si è scelta la stazione di Pontelagoscuro che misura l'efflusso totale del Po.



OTTOBRE

Figura 4 – Sequenza di immagini composite mensili di Chl-a del Nord Adriatico per il mese di Ottobre. Da sinistra a destra, le 5 immagini per gli anni dal 2003 al 2007.

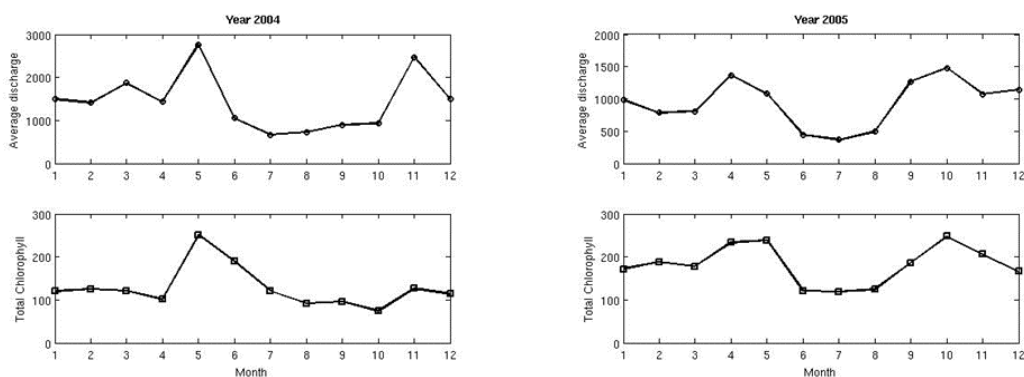


Figura 5 – Confronto tra deflusso medio mensile del Po e Chl-a totale nel Nord Adriatico per gli anni 2004 e 2005.

Il confronto tra deflusso medio mensile del Po e Chl-a totale derivata dalle immagini composite mensili per due anni particolarmente significativi, il 2004 e il 2005, è mostrato in Figura 5, mentre le due sequenze complete, per i 60 mesi oggetto di questo studio, sono mostrate in Figura 6.

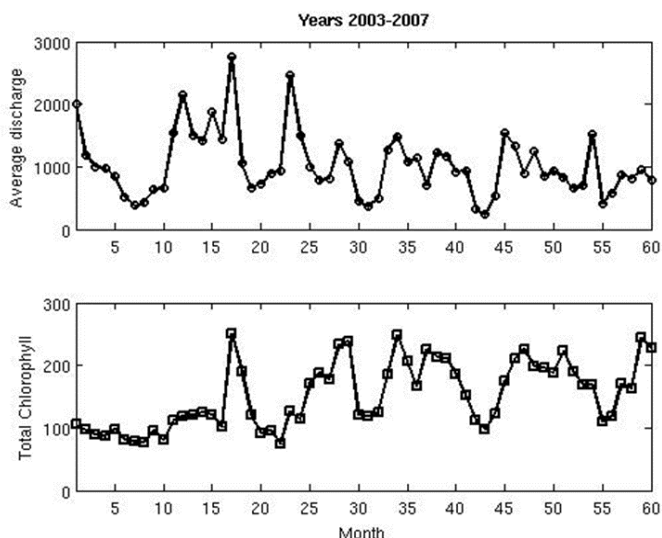


Figura 6 – Confronto tra deflusso medio mensile del Po e Chl-a totale nel Nord Adriatico per i 60 mesi del periodo di studio.

Lo strumento scelto per misurare la correlazione tra le due variabili di Figura 6 è la *running cross-correlation* (Zhao et al., 2006) che è definita come:

$$R_i = \frac{\sum_{k=i-n}^{i+n} (X_k - \bar{X}_k)(Y_k - \bar{Y}_k)}{\sqrt{\sum_{k=i-n}^{i+n} (X_k - \bar{X}_k)^2} \sqrt{\sum_{k=i-n}^{i+n} (Y_k - \bar{Y}_k)^2}} \quad i = 1 + n \dots N - n$$

dove: X e Y sono le sequenze temporali di deflusso del Po e di Chl-a totale, $N = 60$ è il numero totale di campioni delle due sequenze e $n = 1$ è il ritardo considerato tra le due variabili. Il risultato della *running cross-correlation* (Figura 7) dimostra come, per gran parte del periodo considerato, la funzione R_i è molto vicina ad 1, confermando la forte correlazione tra le due variabili.

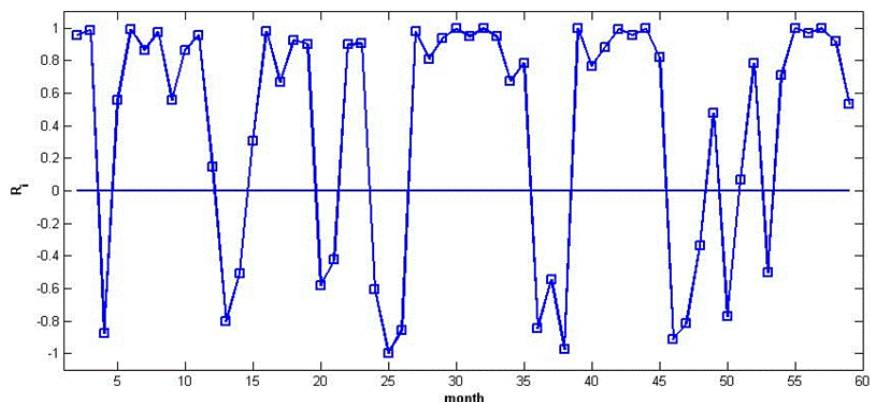


Figura 7 – Running cross-correlation R_i per il periodo di studio.

Conclusioni

Lo studio presentato in questo articolo aveva due obiettivi principali:

1. dimostrare l'importanza e i vantaggi dell'uso di parametri geofisici, derivati da osservazioni da satellite, che possono oggi essere scaricati da diversi archivi pubblici;
2. fornire una misura matematica della correlazione tra il deflusso medio del Po e la distribuzione di Chl-a superficiale nel Nord Adriatico.

Si può concludere che entrambi gli obiettivi iniziali di questo studio sono stati pienamente raggiunti.

Riconoscimenti

Questo studio non avrebbe potuto essere condotto senza la cortese collaborazione di Frederic Mélin dell'Institute for Environment and Sustainability, E.C. Joint Research Centre, Ispra (Italia), che ha fornito le immagini composite mensili di Chl-a. Le stesse immagini possono oggi essere scaricate dal sito web 'Ocean Colour Data Portal': oceancolour.jrc.ec.europa.eu

I dati di deflusso del Po sono stati forniti dall'ARPA Emilia-Romagna, l'agenzia regionale per la protezione dell'ambiente, attraverso il sito web: www.arpa.emr.it/sim/?idrologia/

Gli autori desiderano ringraziare il Dr. Miro Gacic dell'INOGS, Trieste, per gli utili commenti sul manoscritto.

Bibliografia

Barale, V., McClain, C.R., Malanotte-Rizzoli, P. (1986), "Space and time variability of the surface color field in the Northern Adriatic Sea", *J. Geophys. Res.*, 91(C11), 12,957-12,974.

Bignami, F., Sciarra, R., Carniel, S., Santoleri, R. (2007), "Variability of Adriatic Sea coastal turbid water from SeaWiFS imagery", *J. Geophys. Res.*, 112, C03S10, doi:10.1029/2006JC003518.

Jeffries, M.A., Lee, C.M. (2007), "A climatology of the northern Adriatic Sea's response to bora and river forcing", *J. Geophys. Res.*, vol. 112, C03S02, doi:10.1029/2006JC003664.

Kourafalou, V.H. (1999), "Process studies on the Po River plume, North Adriatic Sea", *J. Geophys. Res.*, 104(C12), 29,963-29,985.

Mélin, F., Zibordi, G., Berthon, J.-F. (2003), "Assessment of SeaWiFS atmospheric and marine products for the Northern Adriatic Sea", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 41, 548-558.

Mélin, F., Berthon, J.-F., Zibordi, G. (2005), "Assessment of apparent and inherent optical properties derived from SeaWiFS with field data", *Remote Sens. Environ.*, 97, 540-553.

Zhao, J., Cao, Y., Shi, J. (2006), "Core region of Arctic Oscillation and the main atmospheric events impact on the Arctic", *Geophys. Res. Lett.*, 33, L22708, doi:10.1029/2006GL027590.

Zibordi, G., Mélin, F., Berthon, J.-F. (2006), "Comparison of SeaWiFS, MODIS and MERIS radiometric products at a coastal site", *Geophys. Res. Lett.*, 33, L06617, doi:10.1029/2006GL025778.

Zibordi, G., Mélin, F., Berthon, J.-F. (2006), "A time series of above-water radiometric measurements for coastal water monitoring and remote sensing product validation", *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, 3, 120-124, doi:10.1109/LGRS.2005.858486.

Analisi integrata dei rischi territoriali: esperienza sull'applicazione del modello di metadati nazionale secondo la direttiva INSPIRE per la condivisione delle informazioni prodotte

Monica Pasca (*), Carmelo Di Mauro (**)

(*) Università di Roma Sapienza, Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica, via Gramsci 53 – 00187 ROMA, tel. +39-06-4991.9194 fax +39-06-4991.9192, e-mail Monica.Pasca@uniroma1.it

(**) RGS S.r.l., via Fratelli d'Italia, 7 - 21052 – Busto Arsizio, e-mail cdimauro.rgs@tiscali.it

Sommario

Il Decreto Legislativo 27 gennaio 2010, n. 32 (“Attuazione della direttiva 2007/2/CE, che istituisce un'infrastruttura per l'informazione territoriale nella Comunità europea - INSPIRE”), secondo quanto previsto dalla direttiva Europea INSPIRE sancisce l'integrazione dei dati ambientali con i dati territoriali come condizione necessaria per la costituzione di una base di conoscenza a supporto delle politiche ambientali. Pertanto sono state stabilite le caratteristiche della rete e dei servizi erogabili dal Sistema pubblico che consentono la condivisione dei set di dati territoriali e del monitoraggio ambientale. L'operatività e il funzionamento di tale approccio, che mira all'armonizzazione e alla condivisione dell'informazione territoriale e ambientale, si basano sulla definizione di un modello di metadati, cioè una struttura di riferimento relativa ad *“informazioni che descrivono i set di dati territoriali e i servizi concernenti i dati territoriali e che consentono di ricercare, repertoriare e utilizzare tali dati e servizi”*.

Al fine di validare la coerenza del modello sono in corso numerose sperimentazioni. Tra queste s'intende presentare l'esperienza effettuata nell'ambito dell'“*Accordo di programma tra il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e la Regione Lombardia per la condivisione delle conoscenze e la sperimentazione di metodologie nel settore della prevenzione e del controllo dei rischi di incidenti rilevanti*” che prevede, tra le varie attività, la definizione di Piani Integrati d'Area per la valutazione multi-rischio di alcuni ambiti territoriali. Tale esperienza ha permesso di valutare quali sono i vantaggi e i limiti attuali per la diffusione delle informazioni secondo quanto previsto da INSPIRE, nel dominio delle analisi di rischio territoriali.

La finalità ultima di tale attività è stata di valutare come i numerosi strati informativi prodotti nell'ambito dei vari progetti potranno essere resi disponibili anche per applicazioni non strettamente pertinenti agli ambiti di attività per cui sono stati generati.

Abstract

Italy has transposed Directive 2007/2/CE by means of Legislative Decree No 32 of 27 January 2010 - 'Implementation of Directive 2007/2/EC, establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE)' enabling Italy to participate in the infrastructure for spatial information in Europe (INSPIRE) for the purposes of environmental policies and policies or activities that may have an impact on the environment, and sets out general rules for the exchange, sharing, access to and use of all the data necessary for that purpose, in accordance with methods of full integration and harmonisation with the regional and local stakeholders. The Decree sets the integration of environmental data with spatial data as a necessary condition for the establishment of a knowledge base to support environmental policies. Therefore it established the characteristics of the network and the services provided by the public system that allow the sharing of spatial data sets and environmental monitoring information.

The functioning of such an approach is mainly based on the definition of a metadata model, i.e. a reference structure relating to "information that describes the data set spatial and spatial data and services relating it possible to discover, inventory and use such data and services. "

According to the specifications of the INSPIRE Directive, the Italian metadata model reported into the Annex IV D. 32/2010 L.vo. In order to validate the consistency of the National model several trials and validations are ongoing. The paper report an experience among these ones, which it was carried out under a collaboration program between the Ministry for the Environment, Land and Sea and the Region of Lombardy that aims to develop and share knowledge in the field of prevention and control of major accidents. This experience allowed evaluating the advantages and the limitations for the dissemination of information in the field of the field of territorial risk analysis as required by INSPIRE.

The ultimate objective of this activity was to assess how the many layers of information products in the various projects will also be made available for applications that are not strictly relevant to the areas of activity for which they were generated.

Introduzione

Con il Decreto Legislativo 27 gennaio 2010, n. 32 ("Attuazione della direttiva 2007/2/CE, che istituisce un'infrastruttura per l'informazione territoriale nella Comunità europea - INSPIRE") l'Italia contribuisce all'infrastruttura per l'informazione territoriale nella Comunità Europea a supporto di politiche ambientali o di attività che possono avere ripercussioni sull'ambiente e stabilisce norme generali per lo scambio, la condivisione, l'accesso e l'utilizzazione, in maniera integrata con le realtà regionali e locali, dei dati necessari.

Di fatto il Decreto sancisce l'integrazione dei dati ambientali con i dati territoriali come condizione necessaria per la costituzione di una base di conoscenza a supporto delle politiche ambientali. Pertanto sono state stabilite le caratteristiche della rete e dei servizi erogabili dal Sistema pubblico che consentono la condivisione dei set di dati territoriali e del monitoraggio ambientale.

Uno degli aspetti affrontati per la realizzazione della "infrastruttura" è quello delle regole per la condivisione e fruizione dei dati territoriali. In tale ambito, è fondamentale la definizione di un modello di metadati, cioè una struttura di riferimento relativa ad *"informazioni che descrivono i set di dati territoriali e i servizi concernenti i dati territoriali e che consentono di ricercare, repertoriare e utilizzare tali dati e servizi"*, che sia comune a tutti gli operatori. Il modello INSPIRE + stato costruito sulla base delle esperienze e degli standard già presenti a livello internazionale, con particolare riferimento agli standard ISO, integrando quanto già previsto dalle norme ISO-19115 e ISO-19119 con alcuni dati aggiuntivi più specifici per gli scopi della Direttiva.

Il modello di metadati per l'Italia è definito dall'Allegato IV del D. L.vo 32/2010 sulla base delle specifiche della Direttiva INSPIRE. Per convalidare la coerenza del modello sono in corso numerose sperimentazioni e validazioni. Tra queste si presenta l'esperienza effettuata nell'ambito dell'*Accordo di programma tra il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e la Regione Lombardia per la condivisione delle conoscenze e la sperimentazione di metodologie nel settore della prevenzione e del controllo dei rischi di incidenti rilevanti* che prevede, tra le varie attività, la definizione di Piani Integrati d'Area (PIA) per la valutazione multi-rischio di alcuni ambiti territoriali. I Piani Integrati d'Area, sviluppati per alcuni territori lombardi caratterizzati dalla presenza di numerose sorgenti di pericolo sia naturali sia tecnologiche, costituiscono una analisi di dettaglio su 6 aree individuate quali altamente critiche sia per il numero di rischi, sia per il loro livello, sia per l'estensione areale nell'ambito degli studi effettuati, nelle prime fasi dell'Accordo, con il "Programma Regionale Integrato di Mitigazione dei Rischi" – PRIM 2007-2010.

Il PRIM ha operato contemporaneamente sul Rischio naturale, sul Rischio tecnologico e sul Rischio sociale affrontandone con strumenti appropriati i problemi legati alla diversa natura e frequenza del rischio, superando lo stretto obbligo di legge (L.225/92 e L.R. 16/04) per arrivare a un "coordinamento delle politiche di sicurezza". I fenomeni di rischio considerati sono:

- rischi maggiori (frequentanti o probabili, naturali o tecnologici - antropici): rischio idrogeologico; rischio sismico; rischio industriale; rischio meteorologico; rischio incendi boschivi;
- incidenti o eventi socialmente rilevanti: incidenti stradali; incidenti sul lavoro; in/sicurezza urbana.

I PIA hanno l'obiettivo di analizzare il territorio in modo sistematico per individuare gli ambiti territoriali maggiormente critici e al fine di poter supportare i processi decisionali necessari alla definizione di strategia di mitigazione e protezione del territorio. Ciò ha permesso di sviluppare un elevato numero di strati informativi che richiede una gestione sistematica e strutturata per essere sfruttata al meglio. Soprattutto ci si è resi conto che l'informazioni generate durante i progetti possono essere di ausilio allo sviluppo di altri strumenti normativi di pianificazione territoriale, non necessariamente correlati alla protezione del territorio. Pertanto l'infrastruttura per l'informazione territoriale prevista dalla Direttiva comunitaria INSPIRE fornisce l'approccio e il riferimento tecnico per sviluppare, consolidare e integrare informazioni che potranno essere condivise in modo armonizzato anche al di fuori del contesto per le quali sono state generate.

Di conseguenza, tale esperienza ha permesso di valutare quali sono i vantaggi e i limiti attuali per la diffusione delle informazioni secondo quanto previsto da INSPIRE, nel dominio della analisi di rischio territoriali.

La finalità ultima di tale attività è stata di valutare come i numerosi strati informativi prodotti nell'ambito dei vari progetti potranno essere resi disponibili anche per applicazioni non strettamente pertinenti agli ambiti di attività per cui sono stati generati.

Caso Studio – il Piano Integrato d'Area di Lecco (PIA)

Il Piano Integrato d'Area, sviluppato nell'ambito territoriale della Provincia di Lecco, ha tra i propri obiettivi lo sviluppo di una base di conoscenza che consenta di supportare i processi decisionali associati all'identificazione delle criticità territoriali e delle relative priorità di mitigazione, al monitoraggio dell'implementazione delle strategie di intervento e alla valutazione della loro efficacia.

L'intera area di studio è stata caratterizzata attraverso un'analisi multi-rischio del territorio, considerando le seguenti fonti di pericolo:

- Rischi Naturali, caratterizzati da eventi frequenti a bassa gravità, prevedibili e liberamente assunti dalla popolazione esposta, suddivisi in Rischio idrogeologico, Rischio incendi boschivi, Rischio sismico;
- Rischi di origine Tecnologico-sociali, caratterizzati da eventi rari ad alta gravità, non prevedibili e non volontari per la popolazione esposta, comprendenti il Rischio industriale, Rischio incidenti stradali, Rischio trasporto di merci pericolose, Rischio incidenti sul lavoro.

Le potenziali tipologie di bersagli per i rischi descritti comprendono gli elementi territoriali vulnerabili e le persone realmente o potenzialmente esposte al pericolo.

Poiché le analisi sviluppate hanno quale finalità principale lo studio dei rischi con particolare attenzione alla loro distribuzione e sovrapposizione spaziale, il territorio di studio è stato discretizzato utilizzando da una griglia a maglia quadrata di lato 20 m x 20 m. Le informazioni ed elaborazioni analitiche sono state effettuate assumendo tale griglia di riferimento. Questo livello di dettaglio sarebbe risultato particolarmente di dettaglio e di difficile utilizzo per supportare un processo decisionale che coinvolga portatori d'interesse non necessariamente esperti con le funzionalità analitiche e interpretative di ambienti e sistemi di geomatica. Pertanto, al fine di supportare i processi decisionali per la definizione di strategie di mitigazione, l'informazione è stata aggregata a diversi livelli di accuratezza:

- griglia di 1000 m di lato
- griglia di 500 m di lato
- griglia di 200 m di lato

La *Figura 1* mostra il territorio oggetto dell'analisi e le griglie di discretizzazione utilizzate.

L'aggregazione ha permesso di mantenere un sufficiente livello di dettaglio per valutare, discriminare e gerarchizzare il territorio studiato nel suo insieme, permettendo inoltre di poter procedere ad approfondimenti successivi con scale di dettaglio più accurate.

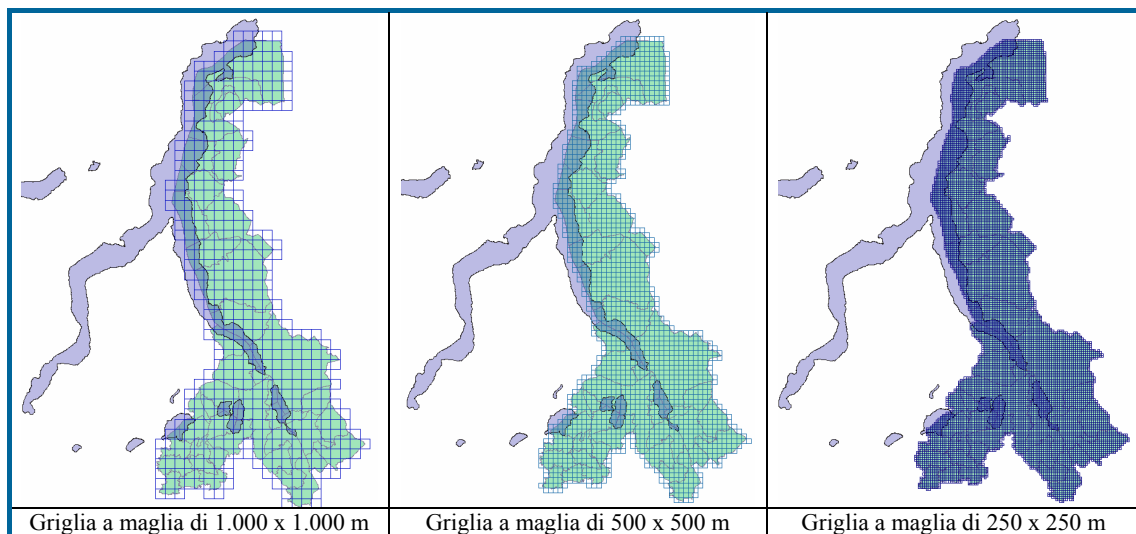


Figura 1 – PIA Lecco – Discretizzazione dell'area di studio.

Sistema di supporto alla decisione

Considerata la quantità di informazione elaborata durante lo sviluppo dello studio, ci si è posti il problema di come sfruttarla al meglio per supportare processi decisionali che, pur restando nell'ambito della definizione di attività di mitigazione, possono variare in funzione delle diverse variabili decisionali considerate o di processi decisionali e pianificatori che posso andare oltre l'obiettivo dell'attività di mitigazione.

Un territorio esteso e fortemente antropizzato come quello caratteristico di una provincia lombarda, è tipicamente caratterizzato dalla distribuzione spaziale di molteplici fonti di pericolo tecnologici e naturali e da una moltitudine di elementi esposti vulnerabili. Considerate poi le diverse tipologie di conseguenze che possono verificarsi (es. impatti sulla popolazione, conseguenze economiche, ecc.), si può intuire come l'interpretazione del territorio e la prioritizzazione degli interventi di mitigazione sia un processo alquanto complesso e che richieda la definizione di un metodo di lavoro specifico che possa portare alla definizione di un piano di mitigazione. Inoltre il processo tecnico-amministrativo che porta alla definizione di piano di mitigazione è caratterizzato da molteplici situazioni decisionali nelle quali sono coinvolti diversi decisori i quali si devono esprimere su numerosi criteri di valutazione. Pertanto l'identificazione di un unico e comune livello di soddisfazione non è in pratica possibile. Gli attori tenderanno a valutare i criteri in modo discordante ed esprimeranno livelli di soddisfazione diversi. Dovendo in ogni caso trovare un'unica soluzione comune, alla fine il processo decisionale si ridurrà alla ricerca del compromesso, trasformando in altri termini il processo decisionale in un processo negoziale.

Al fine di tenere nella giusta considerazione questi aspetti si è deciso di sviluppare un Sistema di Supporto alle Decisioni. Rimandando la definizione e la caratterizzazione di un Sistema di Supporto alle Decisioni alla letteratura di riferimento (es Geertman, S. and J. Stillwell (2009), Geertman, S. C. M. and J. Stillwell (2004), Carver, S. J. (1991)), occorre comunque ricordare che il sistema non dovrà ricercare e fornire soluzioni "ottimali", ma dovrà essere in grado di aiutare gli attori coinvolti a comprendere le caratteristiche del problema, ad esplicitare le proprie preferenze e a valutarne le differenze rispetto a quelle espresse dagli altri interlocutori.

Considerando la complessità di tale processo che porta alla definizione di un piano di mitigazione, come tanti altri processi di pianificazione territoriale, si evidenzia come il sistema di supporto alle decisioni non possa essere concepito come un unico strumento in cui siano integrate tutte le informazioni e le variabili decisionali.

Da tale osservazione ne è scaturita l'esigenza di garantire la possibilità di integrare (o aggiornare) fonti di informazioni che al momento o non sono disponibili o non rientrano tra i contenuti informativi utilizzati e sviluppati dal progetto. Ad esempio, potrebbe essere interessante integrare le informazioni relative alla distribuzione territoriale relative alle fonti di pericolo con le informazioni che riguardano le scelte pianificatorie o i vincoli posti da altri strumenti di governo (es. PRG, PGT) e viceversa.

In questo senso l'infrastruttura sviluppata secondo i riferimenti della Direttiva INSPIRE costituisce un valido approccio per consolidare e fruttare l'informazione territoriale generata con i progetti PIA anche se occorre ricordare che si limitano soltanto alcuni territori lombardi. In ogni caso, tale esperienza ha permesso di confermare ancora una volta l'esigenza di trasferire l'approccio sviluppato a scala europea dalla direttiva INSPIRE anche a scale territoriali di maggior dettaglio. Ciò comporta alcuni limiti che, senza entrare nei dettagli tecnici, sono principalmente legati da un lato alla garanzia della coerenza delle informazioni tra le diverse scale di rappresentazione e dall'altro alla omogeneità della copertura territoriale.

L'utilizzo dell'informazione territoriale per l'analisi integrata dei rischi territoriali

La predisposizione dei Piani Integrati di Area si basa sulla conoscenza di diversi aspetti relativi al territorio, alle sue caratteristiche naturali e artificiali, alla popolazione, etc. Richiede dunque conoscenze multidisciplinari e la raccolta di molte informazioni da istituzioni ed enti a livello territoriale.

Come già in altre occasioni, il progetto ha confermato la difficoltà di raccogliere dati ed informazioni, soprattutto stante la necessità di verificarne l'attendibilità, il riferimento temporale, la scala di riferimento. Preso atto delle difficoltà che continuano a sussistere, si è cercato di far sì che, una volta raccolte e documentate, le informazioni possano essere messe a disposizione per le attività future, sia nell'ambito di processi di pianificazione di misure di prevenzione e mitigazione sia più in generale, in tutti i processi di governo del territorio che possono richiedere la valutazione e l'integrazione di informazione relativa alla distribuzione territoriale dei rischi naturali e tecnologici.

Elementi territoriali vulnerabili: dati

La sperimentazione effettuata per valutare potenzialità e limiti del modello di metadati INSPIRE per lo scambio di informazioni che non siano esclusivamente i dati territoriali previsti dalle Disposizioni di Esecuzione per ciascuna delle categorie tematiche, ha focalizzato la propria attenzione sulla mappatura degli elementi territoriali vulnerabili in quanto sono dati ed informazioni peculiari di ogni territorio e che costituiscono la base sia per la valutazione del rischio integrato d'area (oggetto del progetto in esame) sia per moltissime delle attività di valutazione, pianificazione e monitoraggio di interesse del territorio in diversi settori.

Per la costruzione del PIA, uno dei primi passi è stato la predisposizione delle cartografie in formato vettoriale degli elementi territoriali da utilizzare per il calcolo della grid "Abitanti equivalenti" e della grid del "Valore economico" necessari per la quantificazione del rischio. La mappatura di quelli che vengono definiti "bersagli" è avvenuta attraverso l'acquisizione di cartografie, tabelle, dati vari da numerose istituzioni presenti sul territorio, competenti per i diversi aspetti territoriali; in alcuni casi, si è reso necessario effettuare sopralluoghi diretti sul territorio e la relativa mappatura è stata effettuata attraverso l'ausilio di palmare fornito di sistema di posizionamento globale (gps).

Per ogni cartografia vettoriale è stato predisposto uno shape file a cui è associata una tabella strutturata secondo i seguenti campi:

- *Id_polyg*: identificativo univoco della feature.

- *Descrizione*: descrizione testuale della feature (es. nome della struttura come “Scuola dell’infanzia Corti”; “Ospedale A. Manzoni”, o tipologia elemento come “Traliccio AT” ecc.).
- *Indirizzo*: ubicazione dell’elemento territoriale (dato compilato se significativo).
- *Comune*: Comune in cui ricade l’elemento territoriale (dato compilato se significativo).
- *Fonte_dato*: Ente Istituzionale/Privato Progetto fonte del dato.
- *Data_fonte*: data di ultimo aggiornamento del dato utilizzato.
- *Fonte_poly*: autore della creazione della feature.
- *Data_poly*: data di creazione/ultimo aggiornamento della feature.
- *Base_poly*: base cartografica utilizzata per la digitalizzazione della feature (CTR, immagine aerea, ecc.).
- *Aff_poly*: livello di rappresentatività del poligono digitalizzato (campo compilato solo nel caso di digitalizzazione ex-novo o modifica della features esistente da parte del gruppo di lavoro):
 - affidabilità “*alta*”: il poligono rappresenta l’elemento nella sua esatta ubicazione sul territorio e gli esatti confini che la delimitano;
 - affidabilità “*media*”: il poligono rappresenta l’elemento nella sua esatta ubicazione ma rimangono alcune incertezze sugli esatti confini che la delimitano;
 - affidabilità “*bassa*”: il poligono potrebbe non rappresentare l’elemento nella sua esatta ubicazione.
- *Dato_poly*: metodologia operativa che ha consentito la digitalizzazione della feature come sopralluoghi, fotointerpretazione, Cartografia Piano del Governo del Territorio, Piano di Emergenza Comunale, ecc. (campo compilato solo nel caso di digitalizzazione ex-novo o modifica della features esistente da parte del gruppo di lavoro).
- *Pop*: dato sulla popolazione della struttura come ad esempio il numero totale di posti letto per gli ospedali, numero totale di alunni per le scuole, ecc. (dato compilato se significativo).
- *Note*: eventuali altre note utili per comprendere come è stata generata la feature.

In aggiunta a questi dati di carattere generale, per alcuni degli elementi vulnerabili sono stati aggiunti campi di particolare significatività per l’elemento considerato.

Quale esempio, si illustra la procedura utilizzata per l’elemento “Ospedali e case di cura”. Per la mappatura delle strutture ospedaliere sono state considerate le seguenti banche-dati quali dati di partenza:

- dalla D.G. Sanità della Regione Lombardia è stato acquisito l’elenco anagrafico delle strutture ospedaliere, raggruppate per Distretti Sanitari, con associato il numero di posti letto per reparto.
- dalla D.G. Protezione Civile della Regione Lombardia la cartografia delle strutture sanitarie utilizzata nel PRIM (2007-2010) di Regione Lombardia: tale cartografia deriva dal Mosaico degli Strumenti Urbanistici (progetto MISURC) e dal progetto sul censimento della vulnerabilità sismica di strutture strategiche e rilevanti svolto dall’Eucentre (2006). Il dato PRIM fornisce il perimetro degli edifici o l’area complessiva di pertinenza (comprese le aree verdi, parcheggi, ecc.) e non ha associato alcun nome, né il numero di posti letto.

Utilizzando come riferimento l’elenco anagrafico fornito da D.G. Sanità si è proceduto con la mappatura delle strutture sanitarie con l’ausilio della cartografia del dato PRIM, delle immagini aeree di Google Earth, e di alcuni sopralluoghi. I poligoni sono stati disegnati utilizzando i fotogrammetrici comunali a disposizione.

L’analisi ha consentito la predisposizione di una banca-dati contenente le features degli ospedali e case di cura per l’area di studio (n. 6), con associato a ciascuna struttura il numero di posti letto totale. Il tutto è contenuto in uno strato individuato come “strutture_sanitarie_Pia_Lecco.shp”.

In *Figura 2* è mostrata la rappresentazione grafica degli elementi e la lettura dei dati associati ad una struttura sanitaria ospedaliera effettuata riutilizzando lo strato in esame all’interno di un software diverso da quello di produzione, in particolare attraverso il componente GIS Televue della Suite OpenGIADA sviluppata dal Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (ex Direzione per la Salvaguardia Ambientale) di disponibilità gratuita per enti pubblici e soggetti interessati.

La possibilità di utilizzare gli strati in diversi software sia proprietari che open source / gratuiti è uno dei primi requisiti nella costruzione delle basi informative; lo stesso Sistema di supporto alle decisioni fa uso dei medesimi formati con una completa intercambiabilità. In questa fase del progetto non sono stati creati i servizi web necessari per la condivisione on-line della informazione.

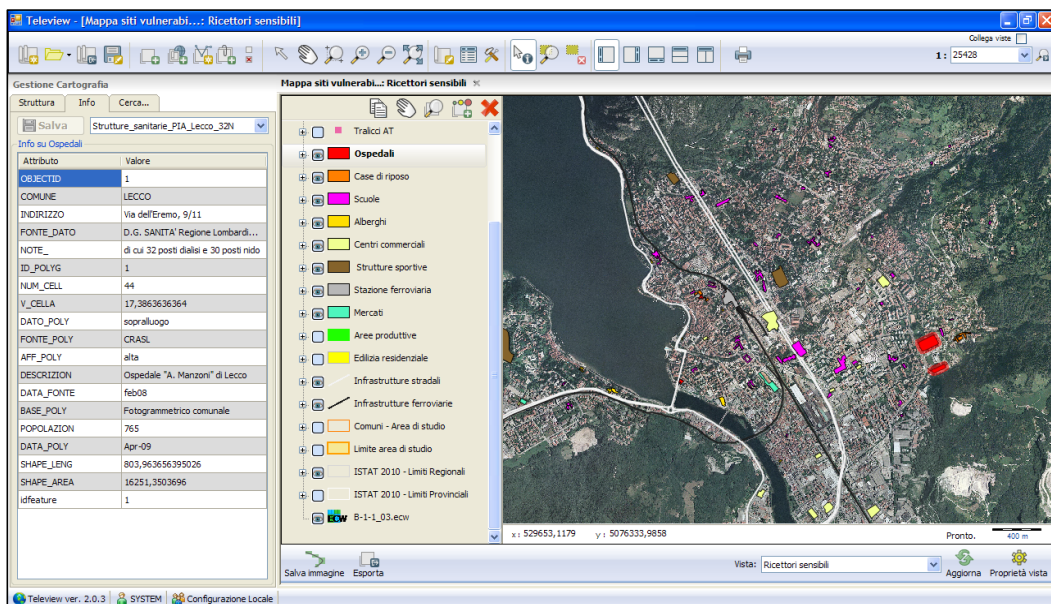


Figura 2 – PIA Lecco – Mappa siti vulnerabili – Ospedali e case di cura.

Altro esempio di elemento del territorio di importanza strategica è costituito dalle strutture dell'istruzione. In questo caso, dall'ufficio scolastico regionale è stata ricavata l'anagrafica delle strutture pubbliche e private di ogni ordine e grado contenente, solo per le prime, il numero di alunni totali relativo all'anno scolastico 2008/2009, mentre dal sito internet della FISM di Lecco, associazione che gestisce le scuole dell'infanzia private sul territorio della Provincia di Lecco, sono state estrapolate le strutture private presenti nell'area in esame. La mappatura delle strutture si è svolta attraverso l'aggiornamento e la verifica delle cartografie dei piani di emergenza comunali, l'ausilio dei fotogrammetrici comunali (che talvolta riportano la toponomastica delle scuole) e di sopralluoghi diretti sul territorio. L'analisi ha consentito la predisposizione di una banca-dati contenente le features di 211 strutture scolastiche con associato a ciascuna struttura il numero di alunni (vedi Figura 3).

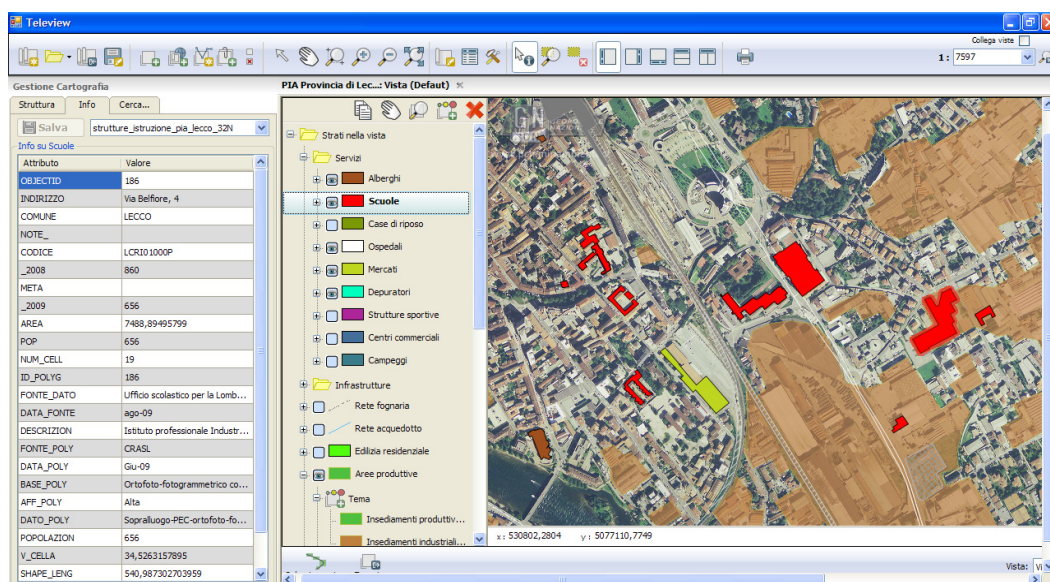


Figura 3 – PIA Lecco – Mappa siti vulnerabili – Istituti scolastici.

Elementi territoriali vulnerabili: metadati

Nell'ambito del progetto è stata data molta importanza alla predisposizione dei metadati per ciascuno degli strati elaborati. Al momento della elaborazione dei dati di cui alla presente analisi, la Regione Lombardia stava ancora adeguando il proprio sito di cartografia per completare lo schema dei metadati secondo lo standard definito dalla Direttiva 2007/2/CE "INSPIRE" e dall'Allegato IV dal Decreto Legislativo 27 gennaio 2010, n. 32 ("Attuazione della direttiva 2007/2/CE, che istituisce un'infrastruttura per l'informazione territoriale nella Comunità europea - INSPIRE"), pur contenendo già molti degli elementi previsti da quest'ultimo. E' stata pertanto effettuata la scelta di utilizzare lo schema di metadato definito dal Decreto, al fine di predisporre le informazioni secondo lo standard di riferimento e pronte per essere condivise attraverso i portali della Regione Lombardia e del Ministero dell'Ambiente. Ancora con riferimento allo strato "Strutture sanitarie", si riporta nel seguito la scheda metadato compilata, cui seguiranno alcuni commenti sulle principali difficoltà incontrate nella compilazione della stessa e delle scelte che è stato necessario operare, scelte che possono rendere non uniformi i metadati predisposti in ambiti differenti. Sono stati omessi, per brevità, alcuni campi non compilati e non obbligatori o che possono essere compilati solo in fase di pubblicazione di un servizio web, quali "Risorse on-line", identificatori di dataset e metadati, data di pubblicazione. Inoltre, la compatibilità con le specifiche di cui alle Disposizioni di esecuzione della Direttiva INSPIRE ed il relativo grado di conformità sono stati omessi in quanto, ad oggi, non sono disponibili per le categorie tematiche di cui all'Allegato III della Direttiva stessa. Alle informazioni previste è stato aggiunto un campo, denominato "Informazioni supplementari, nel quale sono contenuti dettagli relativi ai dati associati, per consentire la lettura dei dati a chiunque legga lo strato informativo. Si è avuto modo infatti di verificare che, anche se il metadato ISO, ancorché implementato da INSPIRE, fornisce le informazioni sulla parte grafica del dato territoriale, spesso diventa molto complesso capire il significato dei dati associati, tenuto anche conto della limitazione del numero di caratteri disponibili per le etichette del dato quando si usa la struttura dati standard .shp/.dbf.

Tabella 1 – Esempio di metadato associato agli strati informativi.

ID	Informazione richiesta	Valore
1.1	Titolo della risorsa	Strutture sanitarie - Ospedali e case di cura
1.2	Breve descrizione della risorsa	Lo strato contiene la mappatura delle strutture sanitarie nell'area di studio del PIA Lecco (parte della provincia di Lecco)
1.3	Tipo di risorsa	Dataset
1.5	Nome del formato dei dati	SHP
1.6	Versione del formato dei dati	Esri ArcGis 9.x
1.9	Altri dettagli	-
1.10	Lingua della risorsa	ITA
1.11	Nome file	strutture_sanitarie_Pia_Lecco.shp
2.1	Argomento (Topic Category)	Salute
2.2	Informazioni supplementari	La tabella associata contiene i seguenti campi: Id_polyg - identificativo univoco della feature; Descrizione - nome della struttura sanitaria; Comune - Comune in cui ricade la struttura sanitaria; Indirizzo - ubicazione della struttura sanitaria; Fonte_dato - Ente Istituzionale/Privato Progetto fonte del dato; Data_fonte - data ultimo aggiornamento del dato utilizzato; Fonte_poly - autore della creazione della feature; Data_poly - data di creazione/ultimo aggiornamento della feature; Base_poly - base cartografica utilizzata per la digitalizzazione della feature; Aff_poly - livello di rappresentatività del poligono digitalizzato (campo compilato solo nel caso di digitalizzazione ex-novo o modifica della features esistente da parte del gruppo di lavoro); Dato_poly - metodologia operativa che ha consentito la digitalizzazione della feature come sopralluoghi, fotointerpretazione, Cartografia Piano del Governo del Territorio, Piano di Emergenza Comunale, ecc; Popolazione - numero totale posti letto; Note - eventuali altre note utili per comprendere come è stata generata la feature.
3.1	Parola chiave	ospedale, infrastruttura sanitaria
3.2.a	Thesaurus – nome	GEMET - Concepts, version 3.0
3.2.b	Thesaurus - tipo di data	Revisione
3.2.c	Thesaurus – data	2011-07-13
3.1	Parola chiave	Servizi di pubblica utilità e servizi amministrativi
3.2.a	Thesaurus – nome	INSPIRE Feature Concept Dictionary
3.2.b	Thesaurus - tipo di data	Revisione
3.2.c	Thesaurus – data	2008-12-05
4.1a	Riquadro di delimitazione geografica (lat. N)	45,78
4.1b	Riquadro di delimitazione geografica (lat. S)	46,05
4.1c	Riquadro di delimitazione geografica (long. E)	9,28
4.1d	Riquadro di delimitazione geografica (long. O)	9,39
4.2	Territorio interessato	Abbadia Lariana, Airuno, Annone Di Brianza, Barzago, Bellano, Bosio Parini, Brivio, Bulciago, Calolziocorte, Carenno, Cesana Brianza, Civate, Colico, Costa Masnaga, Dervio, Dorio, Erve, Esino Lario, Galbiate, Garbagnate Monastero, Garlate, Lecco, Lierna, Malgrate, Mandello Del Lario, Molteno, Monte Marengo, Nibionno, Oggiono, Olginate, Perledo, Pescate, Rogeno, Sirone, Suello, Torre De' Busi, Valgrefghentino, Valmadrera, Varenna, Vendrognio, Vercurago, Vestreno.
5.1.a	Estensione temporale dal	-
5.1.b	Estensione temporale al	-
5.4	Data di creazione della risorsa	2010-07-01
6.1	Genealogia - processo di produzione	Utilizzando come riferimento l'elenco anagrafico delle strutture sanitarie fornito da D.G. Sanità della Regione Lombardia si è proceduto con la mappatura delle strutture sanitarie con l'ausilio della cartografia del dato PRIM (2007-2010) di Regione Lombardia, delle immagini aeree di Google Earth, e di alcuni sopralluoghi. I poligoni sono stati disegnati utilizzando i fotogrammetrici comunali a disposizione.
6.2.a	Risoluzione spaziale dei dati: Scala	10000

ID	Informazione richiesta	Valore
6.3	Sistema di riferimento dei dati	WGS84/UTM 32N
6.4	Formato di rappresentazione	mappa digitale
6.5	Tipo di rappresentazione spaziale	dati vettoriali
8.1	Condizioni applicabili all'accesso e all'uso	Uso gratuito del dato, obbligo di citazione della fonte
8.2	Vincoli per l'accesso pubblico	proprietà intellettuale dei dati
8.3	Vincoli di fruibilità	proprietà intellettuale dei dati
9.1.a	Parte responsabile dei dati - Nome dell'ente	Centro di Ricerche per l'Ambiente e lo Sviluppo sostenibile della Lombardia
9.1.b	Parte responsabile dei dati - Indirizzo e-mail	cdimauro.rgs@tiscali.it
9.1.d	Parte responsabile dei dati - Indirizzo web	http://www.crasl.unicatt.it/index.php
9.2	Parte responsabile dei dati - Ruolo	Autore
9.1.a	Parte responsabile dei dati - Nome dell'ente	Regione Lombardia – Direzione Polizia Locale, Prevenzione e Protezione Civile
9.1.b	Parte responsabile dei dati - Indirizzo e-mail	regione_lombardia@regione.lombardia.it
9.1.d	Parte responsabile dei dati - Indirizzo web	www.regione.lombardia.it
9.2	Parte responsabile dei dati - Ruolo	Proprietario
9.1.a	Parte responsabile dei dati - Nome dell'ente	Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare - Direzione per le Valutazioni Ambientali
9.1.b	Parte responsabile dei dati - Indirizzo e-mail	dva@minambiente.it
9.1.c	Parte responsabile dei dati - Numero di telefono	06/57221
9.1.d	Parte responsabile dei dati - Indirizzo web	www.minambiente.it
9.2	Parte responsabile dei dati - Ruolo	Proprietario
10.1.a	Soggetto responsabile dei metadati - Denominazione	Regione Lombardia – Direzione Polizia Locale, Prevenzione e Protezione Civile
10.1.b	Soggetto responsabile dei metadati - Indirizzo e-mail	regione_lombardia@regione.lombardia.it
10.1.d	Soggetto responsabile dei metadati - Indirizzo web	www.regione.lombardia.it
10.2	Soggetto responsabile dei metadati - Ruolo	Punto di contatto
10.3	Data dei Metadati	2011-07-15
10.4	Lingua dei metadati	ITA

La scelta delle parole chiave è sempre molto delicata. Più problematica è spesso la definizione delle parti responsabili e dei relativi ruoli se il processo di produzione e di costruzione dell'informazione è inserito in un processo complesso; in questo caso, vista la natura del progetto inserito nell'Accordo di programma tra la Regione Lombardia ed il Ministero dell'Ambiente, proprietari e futuri distributori dei dati rimarranno questi due enti, fermi restando autori e diritti di proprietà intellettuale, nonché la eventuale proprietà delle fonti che comunque vengono espressamente citate nella genealogia. Questo esempio mostra come sia di estrema importanza chiarire il “dominio pubblico” di alcune informazioni e come queste, ancorché rielaborate e verificate possano essere distribuite e condivise a scopi pubblici. E' inoltre importante distinguere tra tutte le informazioni utilizzate e rielaborate, quali abbiano già una fonte accessibile e ben documentata alla quale fare riferimento e quali invece costituiscono un valore aggiunto per la comunità, al fine di evitare la duplicazione di informazioni con conseguente confusione per l'utente. Gli esempi prima mostrati sono comunque elaborazioni a valore aggiunto in quanto hanno, come minimo unito più fonti di tipo sia cartografico che alfanumerico, ottenendo una informazione più completa ed integrata. In altri casi questo può essere meno evidente; si veda la *Figura 4* nella quale sono rappresentati gli strati relativi al Corine Land Cover ed alla classificazione del suolo effettuata dalla Regione Lombardia; in questo caso può essere più opportuno far riferimento agli strati originali.

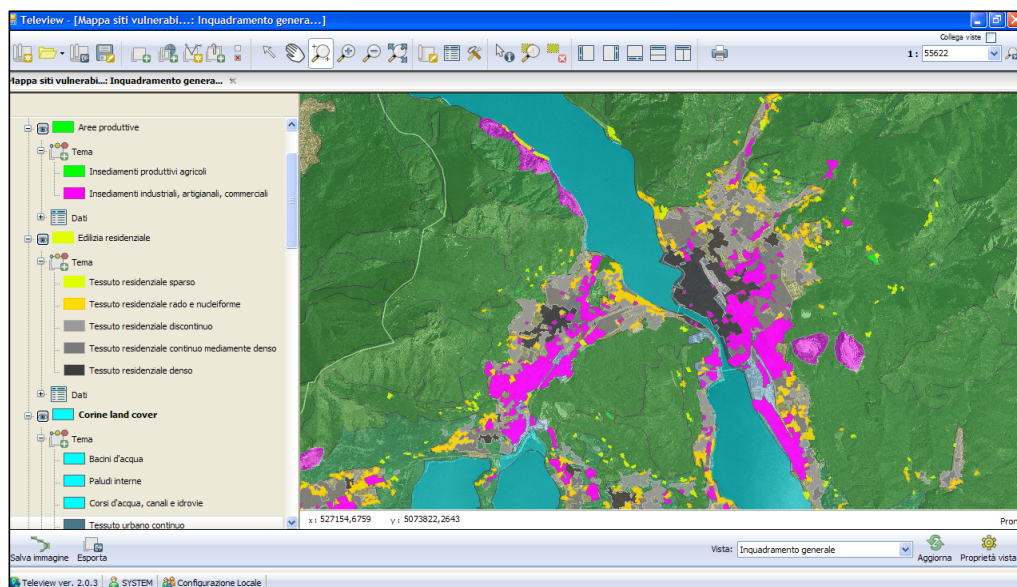


Figura 4 – PIA Lecco – Uso del suolo.

Conclusioni

In questo articolo si sono analizzate le caratteristiche di un processo decisionale associato alla definizione di una strategia di mitigazione dei rischi. Come illustrato, la definizione di una strategia di mitigazione e più in generale un processo di gestione dei rischi associati ad un territorio complesso deve tener conto di molti aspetti che ne influenzano sia la sua definizione sia la sua implementazione. Oltre alla caratterizzazione del territorio in funzione della distribuzione dei rischi, che potremmo definire un problema tecnico, affinché la definizione di una strategia di mitigazione sia efficace occorre tener conto di aspetti di carattere prettamente socio-economico e culturale, quali ad esempio la percezione del rischio da parte della popolazione, la domanda di protezione e prevenzione e l'efficacia della comunicazione del rischio. Il processo di definizione di una strategia di mitigazione deve essere considerato come un processo non strutturato, cioè un processo che non può essere definito a priori e che non ha un'unica soluzione ottimale. Al contrario l'identificazione di una strategia è il risultato in prima istanza della definizione delle caratteristiche del problema che si vuole affrontare e poi, della sua soluzione attraverso un approccio condiviso e partecipato che apporti nel processo decisionale tutti i diversi obiettivi dei vari portatori d'interesse. In altri termini tale processo si può definire un processo decisionale non strutturato nel quale i sistemi di supporto alla decisione possono contribuire notevolmente ad analizzare il contesto decisionale e a caratterizzare le differenti tipologie di soluzione.

Pertanto l'aspetto dell'integrazione delle informazioni, basato sullo sviluppo di un'infrastruttura di informazioni, permetterà di supportare al meglio i processi decisionali associati alla pianificazione territoriale e garantirne l'aggiornamento in modo più sistematico e automatizzato. Tale approccio permetterà di accedere ad informazioni di dominio pubblico e di integrarle agevolmente nei vari processi decisionali affrontati contribuendo a caratterizzare le variabili decisionali in funzione degli obiettivi contingenti del decisore e dei relativi portatori d'interesse. In altri termini l'infrastruttura di condivisione delle informazioni ambientali, una volta sviluppata e popolata, permetterà di rendere i processi di valutazione amministrativa dei processi dinamici dove l'informazione a supporto del processo decisionale possono facilmente essere integrate con dettagli che non necessariamente sono stati previsti durante le fasi di elaborazione tecnica.

In ogni caso, tale approccio si potrà sviluppare e consolidare soltanto nel momento in cui si riuscirà a trasporre l'esigenza di armonizzazione posta a livello europeo dalla Direttiva INSPIRE anche a scale territoriali e amministrative più di dettaglio e facendo diventare stringente e operativo il vincolo dell'interoperabilità di tutte le informazioni ambientali e, più in generale territoriali, sviluppate durante tutti i processi amministrativi dei vari organi di governo. Sulla base di quanto predisposto dal Ministero, occorre quindi sviluppare e popolare un sistema di riferimento che garantisca la congruenza delle informazioni ed eviti duplicazioni inutili o persino controproducenti. Di fatto non è possibile pensare ad un'infrastruttura che possa essere popolata nell'immediato con set informazioni che coprano in modo omogeneo l'intero territorio nazionale per tutte le esigenze dei processi di governo del territorio. Occorre quindi concepire tale processo in modo dinamico in modo da permettere nel tempo il consolidamento in un unico riferimento di tutta l'informazione ad oggi esistente ma non totalmente disponibile.

L'esperienza sviluppata dal MATT in collaborazione con Regione Lombardia ha dimostrato che tale percorso non solo è possibile ma è persino auspicabile anche se permangono alcuni limiti che potranno essere affrontati e risolti soltanto nel momento in cui si riuscirà a far diventare l'approccio INSPIRE una modalità operativa di gestione delle informazioni ambientali consolidata a tutti i livelli territoriali e amministrativi.

Bibliografia

Geertman, S. , J. Stillwell (2009). *Planning Support Systems: Content, Issues and Trends. Planning Support Systems Best Practice and New Methods*. S. Geertman and J. Stillwell, Springer Science+Business Media B.V.: 1- 26.

Geertman, S. C. M. and J. Stillwell (2004). "Planning support systems: an inventory of current practice." *Computers, Environment and Urban Systems* 28(4): 291-310.

Carver, S. J. (1991). "Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems." *International Journal of Geographical Information Systems* 5(3): 321-339.

Regione Lombardia, 2011, *Piano Integrato d'Area della Provincia di Lecco*

Agricola B., Pasca M., Venditti A. (2008). *I Sistemi Informativi Territoriali per il governo del Territorio e la tutela dell'Ambiente – Teoria e strumenti applicativi*, Formautonomie, Roma.

Ringraziamenti

Questa breve nota vede la luce proprio nei momenti in cui si spegne colui che ha attivato e sostenuto il processo di condivisione dell'informazione territoriale e ambientale in Italia e la formazione della Direttiva INSPIRE, l'ing. Bruno Agricola, Direttore Generale del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. A lui è dedicato questo piccolo contributo.

Primi dati della Stazione Mareografica Integrata di Porto Garibaldi

Alberto Pellegrinelli, Paolo Russo

Dipartimento di Ingegneria Università di Ferrara, Viale Saragat 1, 44121 Ferrara, alberto.pellegrinelli@unife.it

Riassunto

Nell'aprile del 2009 la Provincia di Ferrara, in collaborazione con il Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Ferrara, ha completato la realizzazione della Stazione Mareografica Integrata di Porto Gaibaldi (FE). La Stazione, nata con l'obiettivo principale di conoscere il livello istantaneo del mare in corrispondenza della foce della Rete Idrografica della provincia ferrarese (pianura padana emiliana-orientale), è dotata di numerosi sensori tra cui: due sensori mareografici (un sensore tradizionale a galleggiante, OTT SE200, installato all'interno di apposito pozzo di calma, ed un sensore radar, OTT Kalesto, basato sulla tecnologia a microonde in aria libera); una sonda meteorologica (parametri rilevati: temperatura aria, pressione atmosferica, direzione e velocità del vento, pluviometro); sonda multiparametrica per il monitoraggio della qualità dell'acqua (temperatura dell'acqua, salinità, pH, conducibilità). La stazione mareografica è integrata con una stazione permanente GNSS (ricevitore Topcon NET-G3 con antenna Chock Ring Topcon CR-G3) per il monitoraggio continuo del sito. La stazione GNSS è entrata nella rete EPN dell'EUREF (site name GARI) a partire dal 10 novembre 2009 (GPS week: 1557).

La procedura di trattamento e di elaborazione dei dati mareografici è stata individuata e messa a punto sulla base delle specifiche internazionali della IOC (Intergovernmental Oceanographic Commission) e della GLOSS (Global Sea Level Observing System). Nel lavoro vengono illustrati i primi risultati ottenuti dall'elaborazione dei dati di livello e vengono confrontati tali dati con quelli di altre stazioni mareografiche presenti nel nord del mare Adriatico.

Abstract

In this work we describe the new tide gauge of Porto Garibaldi (Ferrara - Italy) designed and built at the beginning of 2009. We describe the procedure for processing the data of sea level and comparing the first data of monthly average level with those of nearby stations.

Il livello medio mare a Porto Garibaldi

I sensori mareografici sono stati collegati altimetricamente (tramite livellazione geometrica di alta precisione) ad un caposaldo altimetrico della Rete di livellazione per il controllo della subsidenza della Regione Emilia-Romagna. Tale rete a sua volta utilizza come caposaldo fondamentale di riferimento un caposaldo della Rete Altimetrica nazionale dell'IGM. In tal modo i sensori mareografici in un determinato istante temporale (in realtà è stato settato un campionamento di 10 minuti) forniscono il livello del mare locale riferito al Datum altimetrico nazionale (Genova 1942). Per calcolare il valore del livello medio mare locale è fondamentale applicare una procedura di analisi di qualità, controllo ed elaborazione dei dati. In particolare, la procedura di elaborazione, indicata da appositi organismi (IOC e GLOSS) è basata su (Pellegrinelli A. et al, 2009): applicazione di un filtro in frequenza passa-basso di Butterworth del secondo ordine (dopo la sua applicazione è possibile "decimare" il dato di livello passando dal dato ogni 10' al dato orario); calcolo del livello medio giornaliero tramite applicazione del filtro di X0 di Doodson (vengono

eliminati i contributi delle componenti diurne e semidiurne della marea; il filtro è centrato sulla dodicesima ora del giorno e considera un totale di 38 livelli orari opportunamente pesati.

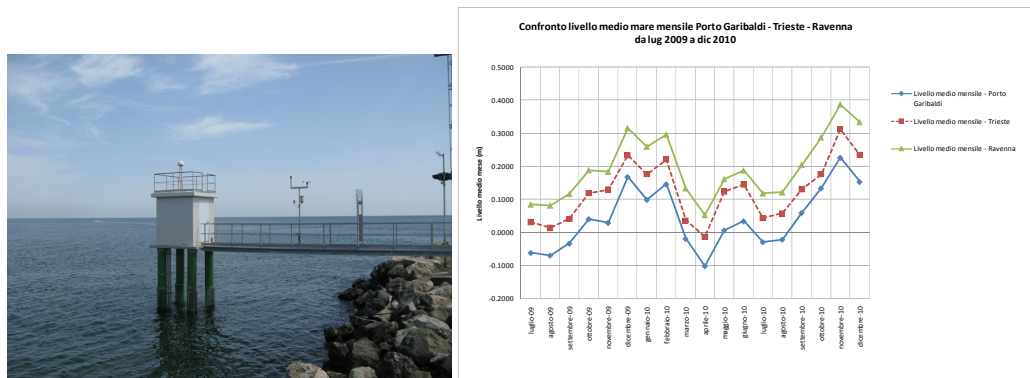


Figura 1 – a sx, la Stazione Mareografica Integrata di Porto Garibaldi (Ferrara); a dx, grafico dei livelli medi mensili dal luglio 2009 a dicembre 2010 delle stazioni mareografiche di Porto Garibaldi, Trieste e Ravenna (dal basso verso l'alto).

A questo punto, il livello medio mensile viene calcolato come semplice media aritmetica dei livelli medi giornalieri calcolati al passo precedente. Il livello viene ovviamente calcolato considerando solo i livelli giornalieri finiti. La media viene calcolata solo se all'interno del mese i livelli giornalieri persi (NaN) sono al massimo 6. Il livello medio annuo viene calcolato come media pesata dei livelli medi mensili, per ognuno dei quali il peso da utilizzare nella media è dato dal numero di livelli giornalieri finiti contenuti all'interno del mese stesso.

Dopo la necessaria fase di *start up*, la procedura descritta è stata applicata ai dati di livello di Porto Garibaldi a partire dal luglio 2009, ed i dati ottenuti sono stati messi a confronto con quelli delle stazioni mareografiche di Ravenna e di Trieste. I dati della Stazione di Ravenna sono forniti dalla RMN (Rete Mareografica Nazionale) dell'ISPRA, e sono già inquadrati nel sistema altimetrico nazionale. I dati di Trieste sono ricavati invece dal sito della PSMSL (Permanent Service for Mean Sea Level) e sono riferiti allo zero di Molo Sartorio, per cui è stato necessario traslarli altimetricamente sulla base delle indicazioni riportate in Caterini et. al. (2009) prima di procedere al confronto. La figura 1 illustra l'andamento del livello medio mare mensile calcolato per le tre stazioni. Come si può osservare si hanno andamenti di mese in mese molto simili mentre in termini assoluti si hanno differenze importanti: mediamente Trieste presenta un valore maggiore di circa +8 cm rispetto a Porto Garibaldi mentre per Ravenna questa differenza cresce a + 15 cm (sempre rispetto a Porto Garibaldi). Tali differenze, di sicuro interesse, andranno accuratamente analizzate nel proseguo del lavoro e mano a mano che aumenteranno i dati di livello a disposizione.

Bibliografia

IOC (International Ocean Commission) – UNESCO - Manuals and Guides 14, Manual on Sea Level, Measurement and Interpretation, Vol. I: basic procedures, 1985; Vol. II: Emerging technologies, 1994; Vol. III: reappraisals and recommendations as of the year 2000, 2002; Vol. IV: an update to 2006, 2006;

Pellegrinelli A., Bencivelli S., Lovo S., Crocetto N., Perfetti N., Ricchieri F., Russo P. (2009), La Stazione Mareografica Integrata di Porto Garibaldi, Atti della 13^o Conferenza Nazionale ASITA, 1-4 dicembre 2009 – Bari, pp. 1565-1570;

Caterini E., Colucci R.R., Crisciani F., Ferraro S., Raicich F. (2009), Il livello del mare a Trieste, pubblicazione CNR – Istituto di Scienze Marine, Trieste.

Il Ghiacciaio del Miage: cartografia geomorfologica e studio della copertura detritica attraverso tecniche di fotogrammetria digitale e telerilevamento

Luigi Perotti, Marco Bacenetti, Paolo Zamparutti, Marco Giardino

Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Torino
Via Valperga Caluso 35, Torino, (luigi.perotti, marco.giardino)@unito.it

Riassunto

Scopo di questo lavoro è stato lo studio geomorfologico s.l. del Ghiacciaio del Miage (Valle d'Aosta), attraverso rilievi di terreno e tecniche di fotogrammetria digitale e di telerilevamento. Una campagna di rilievi di terreno, svolta nelle estati 2008 e 2009 con l'impiego di un pocket-PC con GPS integrato, di un DEM LiDAR e l'utilizzo di ortofoto hanno permesso di ottenere una carta geomorfologica aggiornata dell'intero bacino e una carta dell'assetto della copertura detritica aggiornata al 2008, alla scala 1:10000. I processi fotogrammetrici, eseguiti sul volo RAVA del 1997 e sul volo Ghiacciai 2003, hanno consentito di costruire modelli stereoscopici con una precisione al di sotto dei 4 m. L'analisi di tali modelli ha consentito di valutare gli spostamenti di 18 blocchi rocciosi nelle annate 1997-2003-2006-2008, impiegando per le annate 2006 e 2008 rispettivamente le ortofoto del Ministero dell'Ambiente e il DEM LiDAR. È stata stimata anche una velocità media della massa di ghiaccio per l'intervallo '97-'06 di ~50m/a nel settore alto e ~10m/a nei settori frontali. Si sono inoltre valutate le variazioni areali degli accumuli detritici causate dal flusso di ghiaccio e le variazioni di ice-cliff e bédère a seguito di variazioni climatiche brevi ed intense (estate 2003). L'analisi delle immagini telerilevate MIVIS'99 ha permesso, attraverso la Principal Component Analysis (PCA), di effettuare una classificazione della copertura detritica e produrre una cartografia interpretativa del bacino, confrontabile con quella di terreno già esistente (Deline, 2002), ma arealmente più estesa di questa. L'integrazione dei dati ottenuti all'interno di un sistema informativo ha infine consentito di comprendere come la copertura detritica abbia origine, in particolare, da settori localizzati dove l'interazione tra dinamica glaciale, tettonica, esposizione geografica e microclima giocano un ruolo fondamentale per la produzione di materiale litoide. Il detrito supraglaciale subisce importanti processi traslativi longitudinali, laterali e verticali dovuti alla dinamica del ghiacciaio. L'applicazione di metodologie innovative ha favorito l'integrazione dei dati e la loro interpretazione ai fini geomorfologici.

Abstract

The aim of this work is the geomorphological study of the Miage Glacier (Aosta Valley, NW-Italy) by means of fieldwork, photogrammetric and remote sensing techniques. Fieldwork activities were performed during 2008 and 2009 summers, by using a pocket-PC with GPS and Mobile-GIS software. Using orthophotos and LIDAR DEM as a support to the cartography, a geomorphological map of the whole Miage basin and a glacier-cover map, both at the scale 1:10000, were created. The photogrammetric analysis was conducted on two flight series of the Regione Autonoma Valle d'Aosta: RAVA 1997 and Ghiacciai 2003, stereoscopic models were build with a 4m precision. The displacements of 18 large rock-blocks were evaluated for years 1997-2003-2006-2008 intervals, data for 2006 and 2008 were taken respectively from orthophotos of the Italian Ministry of Environment and Regione Autonoma Valle d'Aosta LIDAR DEM. An estimation of the velocities for the glacial mass was performed for the interval '97-'06, resulting in ~50m/y for the upper part and ~10m/y close to the glacial fronts. The areal size deformation of the debris-cover units due to

the ice mass flow has been evaluated. Short and strong climatic-induced variations on bédère and ice-cliff were also noticed. MIVIS images analysis allowed to classify the debris cover of Miage Glacier using the Principal Component Analysis (PCA). An interpretative map of the whole basin, comparable with that by Deline (2002), but larger, was then created. Integration of all collected data inside a geographic information system allowed to understand that the origin of the debris cover is localized where glacial dynamic, tectonics, geographical settings and local climate strongly interact each others for producing rock material. While on the glacier surface, the material is subjected to extensive translational, longitudinal, lateral and vertical processes due to the ice mass dynamics. The use of new technologies supported the integration of the data collected and their geomorphologic interpretation.

Introduzione

Il presente lavoro si inserisce all'interno di uno studio complessivo dell'assetto morfo-strutturale della Val Veny, della quale il bacino del Miage è il più sviluppato in estensione, 11 km². Il Ghiacciaio del Miage è situato sul versante meridionale del Massiccio del Monte Bianco, in prossimità del confine Nord-Occidentale dell'Italia; amministrativamente ricade all'interno del comune di Courmayeur e si sviluppa tra quota 4810 m, sommità del Monte Bianco, e i 1700 raggiunti dalla fronte del ghiacciaio; si caratterizza per la totale copertura detritica del settore di ablazione, caratteristica che lo classifica come ghiacciaio nero: la lingua che scorre all'interno della valle del Miage presenta infatti, uno strato continuo di detrito che scherma il sottostante ghiaccio dalle radiazioni solari. Le oggettive difficoltà logistiche di accesso e le condizioni climatiche spesso sfavorevoli hanno portato alla scelta di integrare in modo significativo i dati di terreno con tecniche geomatiche di remote sensing e fotogrammetria digitale. L'obiettivo del presente lavoro è stato la ricostruzione geomorfologica s.l. dell'intero bacino glaciale; inoltre, particolare attenzione è stata data alla copertura detritica del settore di ablazione che contraddistingue questo ghiacciaio, valutandone le differenze composizionali e le dinamiche. L'integrazione di diverse tecniche geomatiche: GIS, GPS, telerilevamento e fotogrammetria hanno consentito di costruire un quadro conoscitivo dell'area e di valutarne gli sviluppi dovuti al forcing climatico attuale. La produzione diretta di dati digitali ha consentito la loro integrazione con gli studi in atto nei settori di valle adiacenti in modo da poter contribuire alla creazione di un unico modello evolutivo morfo-strutturale del settore indagato.



Figura 1 – Visione simulata, ortofoto spalmata su DTM Lidar, del settore di valle indagato. Sullo sfondo il Ghiacciaio del Miage trilobato, in primo piano a destra il Ghiacciaio della Brenva.

Metodi di indagine

Tre sono le tipologie di tecniche adottate durante questa indagine: 1) rilievo di terreno attraverso l'impiego di Pocket-PC con GPS integrato, 2) analisi multitemporale attraverso tecniche di fotogrammetria digitale aerea (A. Kaab & A. Funk, 1999) e 3) analisi della copertura detritica attraverso tecniche di telerilevamento iperspettrale. Il lavoro ha previsto due fasi successive: una prima fase di raccolta dei dati ed una seconda parte di interpretazione di essi in chiave geomorfologica integrando i dati provenienti da tutte le tecniche applicate.

La scelta di effettuare la campagna di terreno con l'impiego di un Pocket PC con GPS integrato ha permesso di raccogliere i dati di terreno già in formato digitale e di integrarli direttamente all'interno di un sistema GIS (Perotti, 2007).

La raccolta dati avviene tramite l'applicativo ESRI ArcPad e la toolbar appositamente creata SRG² (Supporto al Rilievo Geologico e Geomorfologico); l'accuratezza del posizionamento delle forme riportate in scala 1:10000 è stata possibile grazie al GPS di codice integrato all'interno del palmare. A supporto del rilievo e dell'interpretazione ortofoto e CTR (Carta Tecnica Regionale) in formato raster .ecw sono state caricate sul palmare per facilitare l'editing di terreno. I dati sono quindi stati inseriti all'interno di un GIS, capace di ottimizzare la sovrapposizione di numerose sorgenti di dati e di integrarle anche con i dati provenienti da altri lavori svolti nei settori di valle adiacenti. La scelta dell'impiego del palmare si caratterizza per la notevole maneggevolezza dello strumento, necessaria in un contesto di alta quota e l'economicità della parte hardware necessaria, soprattutto se paragonata ad altre strumentazioni che svolgono la stessa funzione (tablet PC).

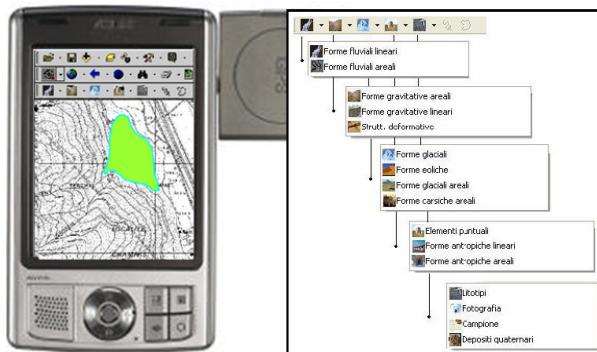


Figura 2 – Esempio di pocket-PC e di toolbar SRG²
(Supporto al rilievo Geologico e Geomorfologico) per il lavoro sul terreno.

L'analisi della dinamica del Ghiacciaio del Miage è stata possibile attraverso la fotogrammetria digitale aerea. Sono stati scannerizzati con scanner fotogrammetrico i voli del 1997 RAVA e 2003 Ghiacciai ad una risoluzione di 700 DPI con deformazione nell'ordine degli 80-120 micron, corrispondenti a circa 1 metro sul terreno. Attraverso la suite LPS (Leica Photogrammetry Suite) sono quindi stati costruiti i modelli stereoscopici effettuando per ogni fotogramma prima l'orientamento interno e in seguito quello esterno. L'orientamento interno prevede utilizzo dei dati di costruzione e presa della fotocamera contenuti nel certificato di calibrazione precedentemente reperito ed il riconoscimento delle marche fiduciali direttamente sul fotogramma. Questa operazione è stata svolta mantenendo un errore RMSE (Root Mean Square Error) massimo al di sotto dei 4 pixel e medio al di sotto di 1 pixel, corrispondente a 20 cm sul terreno (fig.3). Dopo aver ricreato il fascio proiettivo con l'orientamento interno è stato necessario orientare i fotogrammi nello spazio reale attraverso l'orientamento esterno. Per la creazione del modello e l'orientazione planimetrica sono stati riconosciuti su cartografia CTR ufficiale 70 GCPs (Ground Control Points), i valori di quota sono invece stati ottenuti dal DTM della Regione Valle d'Aosta con passo 10 m. Per verificare la qualità del modello prodotto sono stati aggiunti dei Check Points (12): il risultato dell'operazione è riportato in tabella 1. Considerata la bontà della georeferenziazione ottenuta, la scala di lavoro media è stata 1:7500. Dai modelli così ottenuti sono state prodotte carte di spostamento della copertura del ghiacciaio (grandi blocchi di roccia, accumuli di crollo, ...) e di variazione delle forme glaciali (*Ice-cliff*, *bédière*, ...).

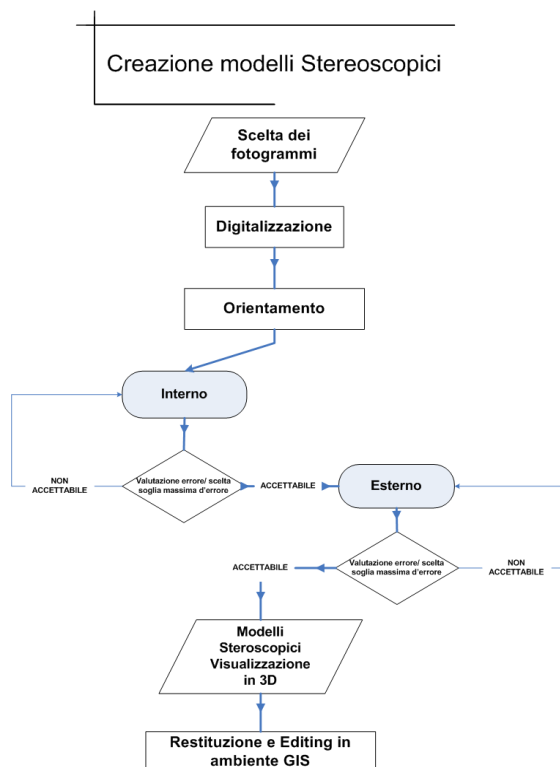


Figura 3 – Flow Chart impiegato durante i processi fotogrammetrici.

Tabella 1 – Valori di RMSE per le strisciate analizzate.

SPETTROMETRO	REGIONE DELLO SPETTRO	NUMERO	INTERVALLO SPETTRALE (μm)	AMPIEZZA BANDE* (μm)
1	Visibile	20	0.431÷0.833	0.020
2	infrarosso vicino	8	1.15÷1.55	0.05
3	infrarosso medio	64	1.985÷2.479	0.009
4	infrarosso termico	10	8.21÷12.70	0.35

La copertura detritica del ghiacciaio presenta una variabilità litologica spaziale elevata. Si è deciso di indagare in *primis* la disposizione delle varie unità di copertura del ghiacciaio e secondariamente cercare di individuare i settori di origine sui versanti. Questo è stato effettuato impiegando le immagini del volo MIVIS della Regione effettuato nel 1999. Il sensore MIVIS è un sensore aereo trasportato di tipo whiskbroom costituito da 4 spettrometri: 1 nel visibile con 20 bande, 1 nell'infrarosso vicino con 8 bande, 1 nell'infrarosso medio con 64 bande e 1 nell'infrarosso termico con 10 bande. Le caratteristiche sono riportate in tabella 2. L'IFOV (*Instantaneous Field Of View*) di 2 mrad consente una buona risoluzione geometrica del pixel a terra (5 metri). I dati MIVIS sono stati forniti con un processamento di livello 1: calibrati radiometricamente al sensore utilizzando le sorgenti di riferimento interne allo strumento. Le immagini sono state prima ortoproiettate eliminando le deformazioni interne indotte, in particolare, dal modello di sensore.

Tabella 2 – Proprietà degli spettrometri del sensore MIVIS.

ANNO di VOLO	STRISCIATA	FOTOGRAMMI	ERRORE PLANIMETRICO (m)	ERRORE ALTIMETRICO (m)	SCALA NOMINALE
1997	A17	1-13	0,9	2,7	1: 5000
1997	A18	1-11	1,7	1,7	1:8500
1997	A19	1-11	1,4	0,65	1:7000
2003	1	9040-9042	1,3	5	1:6500
2003	2	9074-9078	1,3	5	1:6500

L'elaborazione ha previsto la correzione atmosferica e topografica delle stesse. Non avendo a disposizione dati di calibrazione a terra al momento dell'acquisizione si è proceduto con una Dark Subtraction. La topografia particolarmente accidentata del terreno ha fatto propendere per l'applicazione di una metodologia che correggesse la differente rifrazione dei versanti rispetto alla superficie sub pianeggiante della lingua glaciale. Sono stati testati 2 metodi: metodo del C-Factor e metodo del Coseno. Il primo restituiva però numerosi artefatti nei settori ad elevata pendenza. Si è quindi scelto di processare le immagini con il metodo del Coseno che, seppur meno accurato, consentiva di correggere la radianza senza introdurre artefatti alle immagini. I settori di nostro interesse nelle immagini erano rappresentati solamente dalle porzioni di roccia/suolo nudo: sono quindi stati impiegati appositi indici NDVI (C.J. Tucker, 1979) e NDSI (Dozier, 1989) per l'eliminazione dal processamento dei pixel riferibili a vegetazione o a neve/ghiaccio, allo stesso modo sono stati eliminati i pixel in ombra che per definizione non contengono informazioni dirette di riflettenza, ma solamente dovute a backscattering delle superfici adiacenti, ricreando le condizioni di illuminazione presenti attraverso l'impiego del DTM Lidar (Fig. 4).

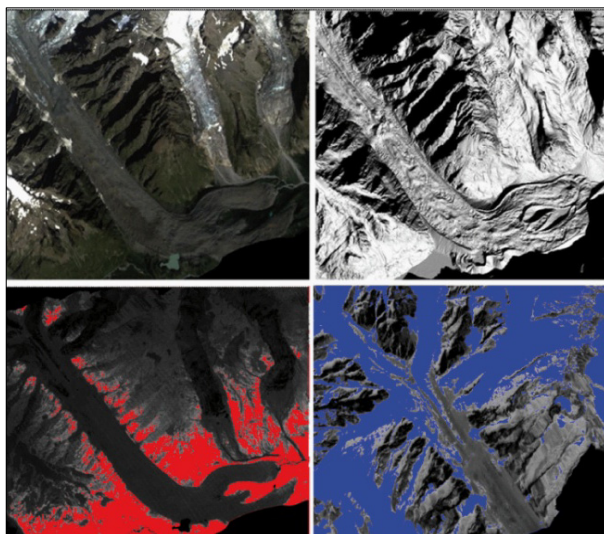


Figura 4 – Da in alto a sinistra in senso orario: immagine MIVIS ortorettificata, simulazione delle ombre con DTM Lidar, indice NDSI e indice NDVI.

Le immagini sono quindi state processate con il metodo delle PCA (Principal Component Analysis). Infatti, tale metodologia consente di enfatizzare la variabilità dei dati per meglio visualizzarne le componenti con maggior riflettenza. La procedura trasforma un set di variabili correlate in un nuovo set di variabili non correlate, ordinate in ordine decrescente di varianza (Marcus & ali, 2003). Un numero di variabili viene quindi trascurato a favore di una riduzione della mole di dati e una maggiore variabilità del dato stesso. Le bande sono passate da 89 (102 originali meno quelle danneggiate) a 15.

Risultati ottenuti

Il rilievo di terreno attraverso Pocket PC e la successiva integrazione dei dati attraverso le carte derivate dal DTM Lidar (hillshade, slope, aspect...) e le ortofoto del Ministero dell'Ambiente hanno portato alla produzione di una carta geomorfologica aggiornata dell'intero bacino del Ghiacciaio del Miage alla scala 1:10000 (Fig. 5). Sono state riconosciute e cartografate tutte le forme tipiche dell'ambiente glaciale: moulins, bédiers, laghi supraglaciali, relitti di cavità endoglaciali, morene viaggianti, accumuli di crollo, debris cones, con valanghivi e valanghivo-detrutici. Inoltre, sono stati cartografati gli elementi utili alla ricostruzione dell'evoluzione recente del ghiacciaio: terrazzi glaciali sospesi, valli tributarie relitte, circhi glaciali attivi e non, trimlines, incisioni di rotte glaciali e cordoni morenici sottoposti a fenomeni di erosione e traslazione.

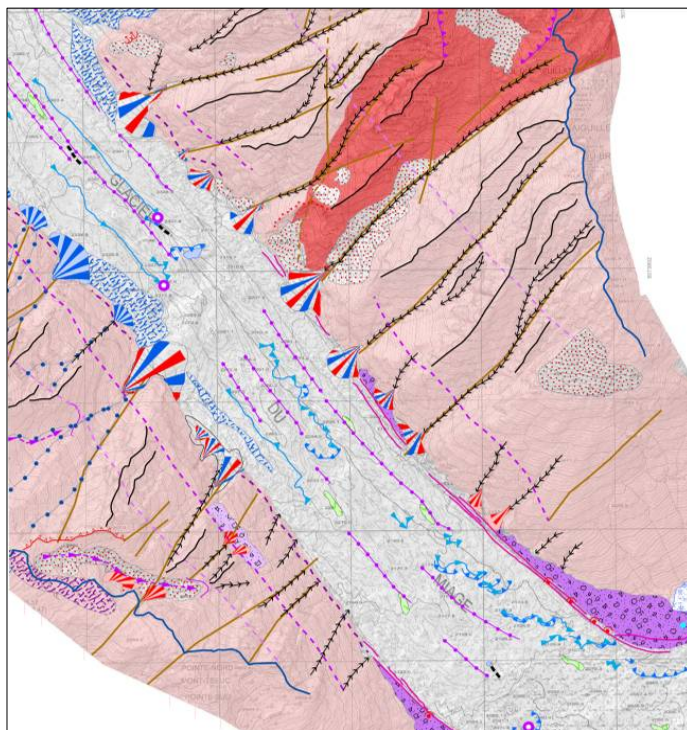


*Figura 5 – Estratto dalla Carta geomorfologica
in scala 1:10000.*

L'impiego dei dati Lidar ha consentito l'individuazione delle principali discontinuità presenti sui versanti della valle; queste rappresentano un fattore predisponente per la produzione e successiva mobilitazione del materiale che si deposita sulla lingua glaciale sottostante sotto forma di accumuli di crollo principalmente. Durante il rilevamento di terreno sono state cartografate le unità che compongono la copertura distiguendole su base litologica e granlumetrica; questo lavoro ha consentito di produrre una cartografia aggiornata della copertura detritica nonché di individuare e classificare le principali zone di origine del detrito (Fig. 6).

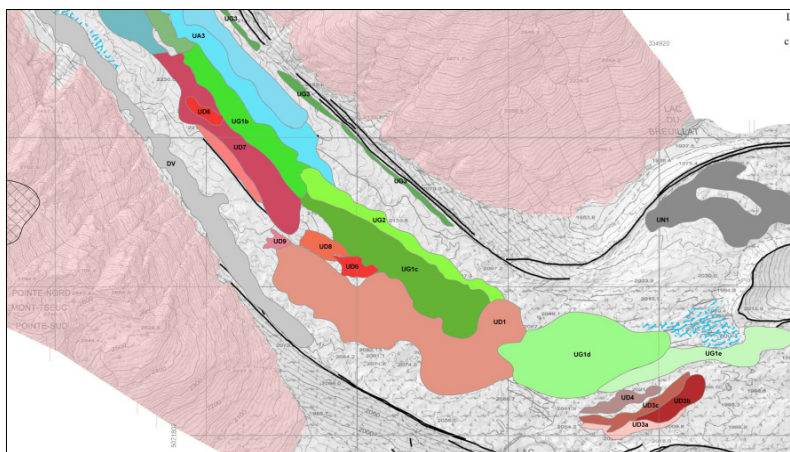


Figura 6 – Estratto dalla carta delle coperture detritiche in scala 1:10000. Ciascuna unità è rappresentata con un colore diverso ed un codice identificativo.

L'utilizzo del GPS in fase di rilievo ha consentito di posizionare correttamente le unità, operazione altresì difficilmente effettuabile vista la mancanza di punti di riferimento.

L'analisi dei modelli stereoscopici, ottenuti a seguito del processo fotogrammetrico, in un'ottica multi temporale, ha permesso di individuare alcuni valori della dinamica glaciale del ghiacciaio quali i tassi di spostamento e la velocità media per l'intervallo '97-'06. I risultati sono stati ottenuti valutando gli spostamenti di 18 grandi blocchi rocciosi presenti sulla superficie per le annate 1997-2003-2006-2008, mentre i dati per le annate 2006 e 2008 sono stati ottenuti dalle ortofoto del Min.Amb. e dal Lidar. L'analisi dei vettori di spostamento ha messo in evidenza come i valori di spostamento siano influenzati dalla posizione dei blocchi sulla lingua glaciale. I blocchi che subiscono una maggiore traslazione longitudinale sono quelli posizionati nella parte mediana del ghiacciaio mentre quelli più vicini al margine presentano spostamenti minori. Questo fatto è probabilmente dovuto all'attrito che la massa di ghiaccio sviluppa con le pareti della morena (vedi fig. 7).

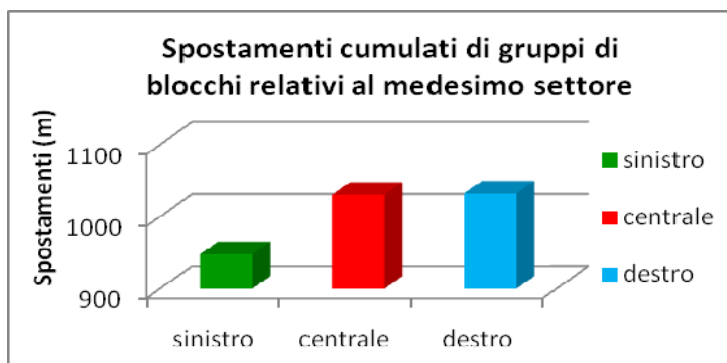


Figura 7 – Grafico degli spostamenti cumulati di gruppi di 2 blocchi localizzati rispettivamente nel settore sinistro, nel settore centrale e nel settore destro.

I valori indicano anche una forte asimmetria tra il settore sinistro e quello destro questo fenomeno potrebbe essere dovuto ad una differente alimentazione di monte del flusso. Le velocità medie per l'intervallo considerato sono di 50 m/a nel settore a monte e circa 10 m/a per il settore frontale. L'analisi quantitativa degli elementi geomorfologici estratti dai modelli ha consentito di rilevare come il numero degli ice cliff diminuisca drasticamente per l'anno 2003 per poi tornare a salire nel 2008, le bédère, invece, si presentavano maggiormente frammentate nel loro corso per il 1997 e il 2008 e più continue ed incise per l'anno 2003: questo potrebbe essere spiegato considerando l'eccezionale caldo dell'estate 2003 che ha portato alla fusione di tutte le porzioni di ghiaccio (ice cliff) non schermate con conseguente aumento delle acque ruscellanti e approfondimento dei corsi d'acqua supraglaciali, bédère appunto. Nel 2008 la situazione si presenta ristabilita: le bédère parzialmente frammentate e gli ice-cliff sviluppati. Dal punto di vista geomorfologico, sono state analizzate le deformazioni subite dagli accumuli detritici: a monte, infatti, i depositi subiscono uno stiramento verso valle dovuto alle alte velocità di flusso, mentre più a valle l'aumento del tasso di ablazione e una minore velocità portano ad un'espansione areale delle unità (fig.8).

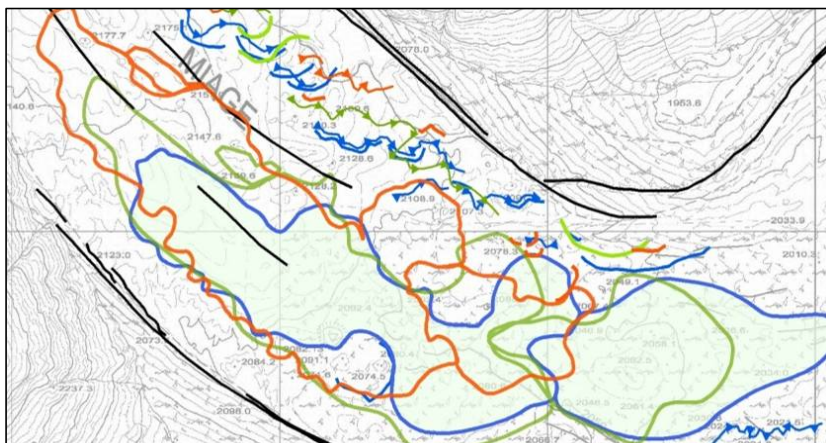


Figura 8 – Stralcio della carte delle deformazioni degli accumuli e delle bédère e ice cliff.

Le immagini MIVIS, ottenute a seguito del processamento precedentemente descritto, sono state analizzate impiegando un approccio di tipo qualitativo. Attraverso la sintesi di numerose triplette RGB con le nuove bande ottenute e applicando un algoritmo di stretching sono state prodotte delle immagini colorimetriche (fig. 9) dalle quali venivano di volta in volta estratte il maggior numero di informazioni attraverso fotointerpretazione. Il risultato è una cartografia della copertura detritica del ghiacciaio del 1999, confrontabile con quella proposta da Deline (2002), ma arealmente più estesa. Le unità, la cui differenza composizionale, rispetto a quelle adiacenti, era minore, sono risultate indistinguibili. Per quanto riguarda i versanti, nonostante la forte acclività abbia condizionato in modo significativo i risultati, restituendo valori anomali di radianza, è stato possibile riconoscere le falde detritiche presenti ed un importante lineamento sul versante sinistro. La differente natura litologica del versante destro da quello sinistro è stata evidenziata dalle sintesi applicate. Per quanto riguarda le aree sorgenti dei grandi accumuli, la loro individuazione è stata difficoltosa poiché: 1) ricadevano all'interno di aree al di fuori dell'immagine impiegata o in settori in ombra al momento della presa 2) ricadevano in settori sub verticali e 3) la sostanziale differenza tra detrito e roccia litoide restituisce firme spettrali molto differenti e quindi difficilmente paragonabili.

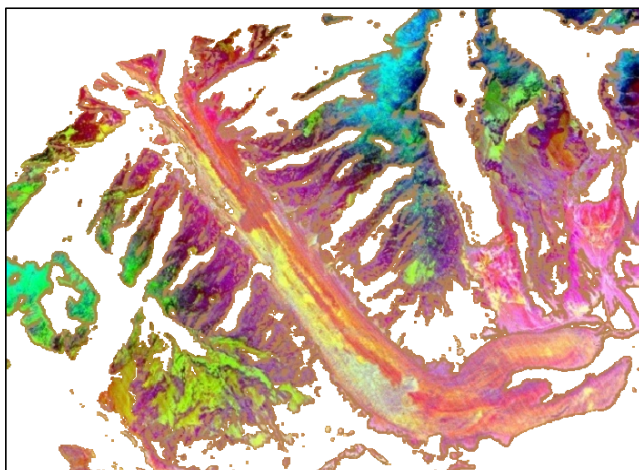


Figura 9 – Esempio di tripletta RGB ottenuta attraverso la sintesi delle bande ottenute con la tecnica delle PCA.

Conclusioni

Il filo conduttore del lavoro è stata l'integrazione dei dati provenienti da diverse sorgenti all'interno di un unico sistema informativo geografico. Questo ha permesso una dettagliata analisi dei processi geomorfologici caratteristici del Ghiacciaio del Miage. E' stato possibile comprendere come la copertura detritica abbia origine, in particolare, da settori localizzati dove l'interazione tra dinamica glaciale, tettonica, esposizione geografica e microclima gioca un ruolo fondamentale nella produzione di materiale litoide. L'azione della gravità lo fa giungere sulla superficie del ghiacciaio dove subisce importanti processi traslativi longitudinali, trasversali e verticali. Le metodologie scelte si sono rivelate adeguate all'ambiente di lavoro consentendo di integrare il lavoro di campagna con le analisi di laboratorio dei dati Lidar e dei modelli stereo. L'impiego della tecnica della PCA si è dimostrato valido nell'analisi delle immagini MIVIS fornendo risultati incoraggianti e decisamente migliori rispetto all'impiego dei classificatori automatici. Sono comunque stati evidenziati problemi tipici dell'ambiente montano che hanno limitato i risultati a determinati settori non affetti da shadowing o backscattering. Dal punto di vista geomorfologico, è stato evidenziato come il forcing climatico recente abbia effetti non solo sul lungo periodo, ma anche su periodi limitati nel caso di variazione brevi ed intense. L'integrazione di tecniche geomatiche a livello di studi di bacino è sicuramente uno strumento fondamentale per poter indagare settori difficilmente accessibili come quelli del Miage.

Bibliografia

- Andrew M.W., Legleiter C.J., Aspinall R.J., Boardman J.W., Crabtree R.L. (2003) "Highspatial resolution hyperspectral mapping of in-stream habitats, depths, and woody debris in mountain streams" *Geomorphology*, Volume 55, Issues 1-4, Pages 363-380.
- Deline P. (2002) *Etude géomorphologique des interactions entre écroulements rocheux et glaciers dans la haute montagne alpine : le versant sud-est du massif du Mont Blanc (Vallée d'Aoste, Italie)*. Phd thesis, Université de Savoie.
- Dozier J. (1989) "Spectral Signature of Alpine Snow Cover from Landsat Thematic Mapper", *Remote Sensing of Environment*, 28, pp. 9-22.
- Kaab A. & Funk A. (1999) "Modelling mass balance using photogrammetric and geophysical data: a pilot study at Griesgletscher, Swiss Alps", *Journal of Glaciology*, 45, 151, 575-583.
- Perotti L. (2007) *Geomorfologia e Geomatica: nuovi strumenti e metodi per il rilevamento e la cartografia tematica*, Phd thesis, Università degli Studi di Torino, Facoltà di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali, Dipartimento di Scienze della Terra.
- Tucker C.J. (1979) "Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation", *Remote Sensing Environ*, 8: 127-150.

Tecniche geomatiche per lo studio dell'assetto Geo-Morfo-Strutturale della Val Veny (Courmayeur, AO)

Luigi Perotti, Marco Bacenetti, Paolo Zamparutti, Marco Giardino

Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Torino
Via Valperga Caluso 35, Torino, (luigi.perotti, marco.giardino)@unito.it

Riassunto

Il presente lavoro è rivolto alla comprensione dei processi geomorfologici di ambiente periglaciale antichi ed attuali della Val Veny (Courmayeur, AO) e la loro interazione con l'assetto morfo-strutturale attraverso tecniche geomatiche. La ricchezza della letteratura scientifica sull'area indagata ha permesso fin da subito di discriminare i settori con minor copertura di dati in modo da indirizzare le attività di rilevamento di terreno al fine di colmare tale deficit.

La prima fase del lavoro ha previsto l'utilizzo di un pocket-PC con ricevitore GNSS integrato, dotato di software mobile-GIS; in questo modo si è potuto fin da subito inserire i dati all'interno di un geodatabase ed ottenere una carta in ambiente GIS.

Considerato il contesto alpino in cui si è operato, sono stati orientati dei modelli stereoscopici dell'area a partire dai voli '97 e '03 (accuratezza di circa 4m) al fine di facilitare la cartografia degli elementi geomorfologici di difficile accesso. A supporto di tale attività è stato pure utilizzato il volo LiDAR '08 RAVA e i suoi prodotti morfometrici derivati (hillshade, slope, aspect). Sono così stati individuate due aree di particolare interesse geotematico: le nicchie di distacco presenti sul versante meridionale del Mt. Rouge de Peuterey e il bacino glaciale del Miage. Per quanto riguarda la dinamica dei versanti è stato utilizzato il software Coltop 3D, con il quale è stato possibile eseguire analisi di stabilità mediante il test di Markland. Tramite lo stesso software si sono potute discriminare, mediante un lavoro di back analysis, le principali zone soggette a potenziali distacchi gravitativi. Per quanto riguarda lo studio dell'area del Miage sono state portate a termine analisi fotogrammetriche terrestri e l'analisi di immagini multi e iperspettrali.

L'elaborazione dei dati, ha permesso di ottenere 3 layer geotematici: a) geomorfologico, contenente le informazioni riguardanti le forme del paesaggio b) morfostrutturale, relativo all'evoluzione dell'assetto vallivo c) copertura del detrito del Ghiacciaio del Miage che ha permesso un'analisi multitemporale dello stesso.

Abstract

The research is devoted to the analysis of present and past geomorphologic processes in the periglacial environment of the Veny valley (Courmayeur, Ao) and to the study of their interaction with the morpho-structural setting by using geomatics techniques. Within this area, previously studied sectors with large quantities of data have been integrated and compared by detailed research conducted within sectors of scarce pre-existing field data.

First, the field data have been collected using pocket-PC and integrated GPS equipped by a mobile-GIS (ArcGIS ESRI) in order to create a geodatabase and detailed maps. Considering the alpine setting of the area, stereoscopic models from the '97 and '03 flights with a 4 m precision were build to map geomorphological features in inaccessible sectors. Contemporaneously, to support these data, LiDAR '08 images were processed to include hillshade, slope, and aspect maps.

Two areas of high geomatic and geomorphological interests were individuated: the potential failure surfaces of the Mont Rouge de Peuterey and the Miage glacial basin. Using the Coltop 3D software,

kinematic analysis of the data were performed through the Markland test. The software also allowed the determination of main areas of potential gravitational instabilities, through back-analysis. Analysis of hyperspectral MIVIS '99 images allowed to classify the debris cover of the Miage glacier and to detect the potential rock instability of the valley slopes, by using the Principal Component Analysis (PCA). On the same slopes, close range photogrammetry was performed to measure joints settings.

Data interpretation yielded to obtain three geothematic layers: a) geomorphology, with mapped landforms; b) morpho-structure, concerning the structural evolution of slopes; c) debris cover of the Miage glacier, for the multitemporal analysis. In the perspective of a safe analysis of stability conditions in mountainous areas, the remote sensing technologies applied in this project showed to be more affordable than the usual field-based approach.

Introduzione

Nell'arco alpino nord-occidentale il ritiro delle masse glaciali verificatosi durante gli ultimi anni ha avuto considerevoli effetti di tipo geomorfologico sulle forme del paesaggio e sui processi morfodinamici. In questo contesto, l'integrazione tra i rilevamenti di tipo tradizionale e le innovative tecniche geomatiche fornisce un contributo significativo (sia dal punto di vista qualitativo che quantitativo) per la caratterizzazione dei fattori che controllano la stabilità dei versanti.

Geologia dell'area

L'area di studio è localizzata nel versante italiano del Massiccio del Monte Bianco (Alpi nord-occidentali), il gruppo montuoso più elevato dell'arco alpino, con una serie di cime che superano i quattromila metri di quota; l'estensione areale è di circa 350 Km² (Fig 1).

Dal punto di vista geologico, l'area di studio include due principali domini alpini: l'*Elvetico* – *Ultraelvetico* (Monte Bianco e sue coperture; rocce granitiche e scisti argilloso – carbonatici) e il dominio Pennidico (zona di *Sion – Courmayeur*; rocce di tipo quarzítico, dolomitico, calcaree, brecce e scisti; Perello et al. 1999). L'assetto strutturale è caratterizzato da una serie di unità immergenti a NW separate sia da faglie di età Varisca (N°20) che da faglie Alpine (N°45) caratterizzate da considerevoli zone milonitiche. A causa della continua collisione tra la placca Europea e quella Africana (Adriatica) e di fenomeni isostatici, il Massiccio risulta attualmente in continuo sollevamento, mediamente di alcuni mm/a (Lemoine et al., 2000).

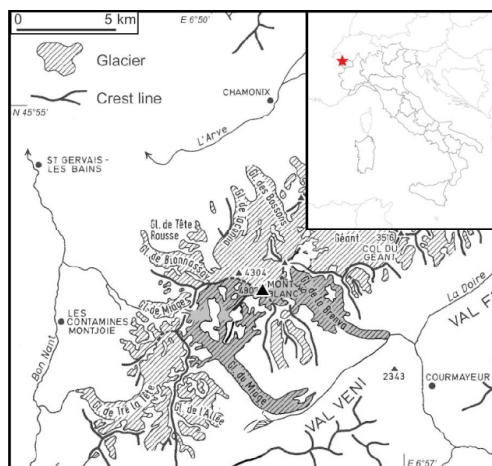


Figura 1 – Localizzazione area di studio (Deline, 2009 modificato).

METODI

Pocket PC and Mobile GIS

Semplicità, precisione e rapidità nel rilevamento di terreno sono le caratteristiche di un pocket PC con antenna GPS integrata equipaggiato con un software mobile-GIS. Tale sistema permette di georiferire in tempo reale le informazioni di terreno e raccoglierle direttamente in un geodatabase; l'accuratezza del posizionamento delle forme riportate in scala 1:10.000 è resa possibile dal GPS di codice integrato all'interno del palmare.

A supporto della raccolta dati sul terreno è stata utilizzata un'apposita toolbars "SRG2" (Perotti, 2007) sviluppata in ambiente ArcPad (ESRI), la quale prevede l'utilizzo di schede di rilevamento per elementi sia di tipo geologico che di tipo geomorfologico (Fig. 2).



Figura 2 – Esempio di pocket-PC e di toolbar SRG2 (Supporto al rilevamento Geologico e Geomorfologico) per il lavoro sul terreno.

Fotogrammetria aerea

Sono stati acquisiti con scanner fotogrammetrico alcuni fotogrammi di voli aerei della Regione Autonoma Valle d'Aosta (RAVA 1997 e Ghiacciai 2003), ad una risoluzione di 700 DPI con deformazione nell'ordine degli 80-120 micron, corrispondenti a circa 1 metro sul terreno. Attraverso la suite LPS sono quindi stati costruiti i modelli stereoscopici (Fig. 3) effettuando per ogni fotogramma prima l'orientamento interno e in seguito quello esterno. L'orientamento interno prevede utilizzo dei dati di costruzione e presa della fotocamera contenuti nel certificato di calibrazione precedentemente reperito ed il riconoscimento delle marche fiduciali direttamente sul fotogramma. Questa operazione è stata svolta mantenendo un RMSE (*Root Mean Square Error*) massimo al di sotto dei 4 pixel e medio al di sotto di 1 pixel, corrispondente a 20 cm sul terreno. Dopo aver ricreato il fascio proiettivo con l'orientamento interno è stato necessario orientare i fotogrammi nello spazio reale attraverso l'orientamento esterno. Per la creazione del modello e l'orientazione planimetrica 70 GCPs (*Ground Control Points*) sono stati riconosciuti su cartografia

CTR ufficiale, i valori di quota sono invece stati ottenuti dal DTM della Regione Valle d'Aosta con passo 10 m. Per verificare la qualità del modello prodotto sono stati aggiunti 12 *Check Points*. Considerata la bontà della georeferenziazione ottenuta la scala di lavoro media è stata 1:7.500.

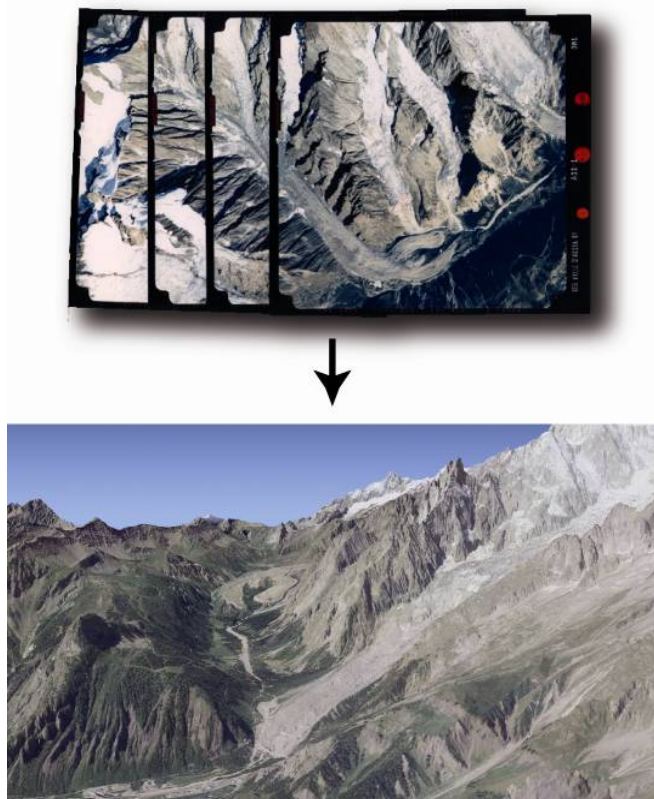


Figura 3 – Modello 3D del settore meridionale del Massiccio del Monte Bianco con al centro la Val Veny.

Fotogrammetria terrestre

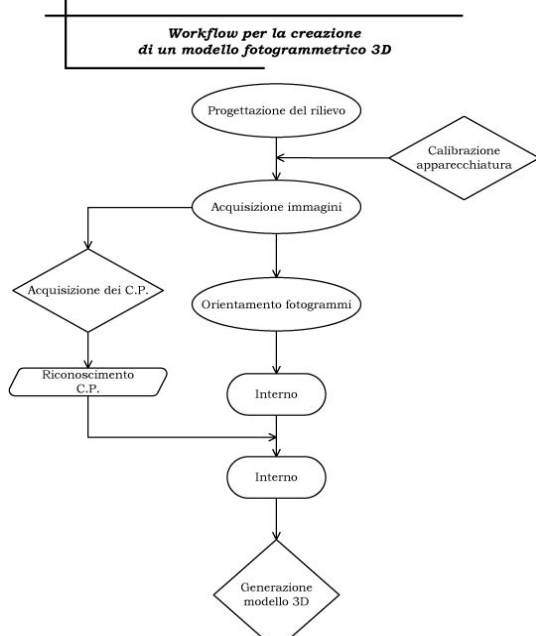


Figura 4 – Flusso di lavoro adottato per la creazione di un modello fotogrammetrico 3D.

L'utilizzo di questa tecnica consente, in linea teorica, di effettuare un rilievo di tipo morfostrutturale di una parete senza venirne in contatto. Questo tipo di soluzione è estremamente vantaggiosa nel caso in cui la parete sia difficilmente raggiungibile (es. pareti situate in ambiente di alta montagna) e/o esposta a pericoli oggettivi (es. caduta blocchi).

Per eseguire un rilievo fotogrammetrico è necessario compiere preliminarmente una fase di progettazione e di valutazione della precisione necessaria in funzione delle finalità del lavoro (Fig. 4).

La progettazione deve tenere conto delle aree accessibili e della possibilità di eseguire tutte le prese necessarie da punti e distanze opportune, programmando la copertura completa delle aree oggetto del rilievo con i coni ottici di presa in rapporto all'attrezzatura utilizzata e delle precisioni richieste. L'accuratezza e la precisione del modello finale dipendono dalla calibrazione dell'apparecchiatura, dalla geometria di presa e dalle procedure automatiche di generazione del modello stesso (Elhakim et al., 2003; Fraser, 1996). La precisione planimetrica (*planimetric accuracy*) è generalmente intorno ai 0.3 pixel (0.05-0.5) assumendo un'adeguata taratura degli strumenti, mentre la precisione legata alla profondità di campo (*depth accuracy*) dipende dalla distanza tra la posizione della fotocamera e l'oggetto fotografato (*distance*) e la distanza tra due posizioni di ripresa successive (*baseline*) (Birch, 2006).

LiDAR

Il LiDAR (*Light Detection and Ranging*) è una tecnica di telerilevamento attivo, utilizzata per l'esecuzione di rilievi topografici di alta risoluzione (Jones et al., 2007). Tale tecnologia consente di acquisire informazioni geomorfologiche molto dettagliate grazie alla dimensione della maglia impiegata e alla precisione del dato. Nel nostro caso il passo è di circa 2 punti per metro quadro, ricampionati su una griglia regolare a 0.5 m sul fondo valle e 2 m sul resto del territorio. La precisione è di circa $0,3 \div 0,5$ m sulla verticale. Dal dato grezzo, opportunamente elaborato, è stato possibile ricavare diversi prodotti morfometrici (*hillshade*, *aspect* e *slope*, Fig. 5).

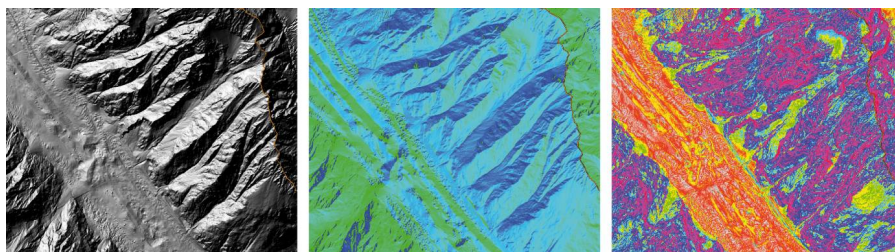


Figura 5 – Prodotti morfometrici della parte centrale della valle del Miage. Da sinistra verso destra: Hillshade, Slope e Aspect.

Coltop 3D

Coltop3D è un software sviluppato by *Quanterra (University of Lausanne)*; il *GeoSitLab* dell'Università degli Studi di Torino fa parte del gruppo *BetaTester* il quale si occupa di provare il software elaborando dati provenienti da campagne di rilevamento sul terreno. Esso è in grado di eseguire analisi strutturali utilizzando un modello digitale di elevazione.

Utilizzando l'orientazione di ogni singolo vertice una nuvola di punti può così essere rappresentata in un'immagine 3D in cui ogni punto è colorato secondo la sua direzione e inclinazione.

Utilizzando il sistema IHS (*IntensityHueSaturation*; Jensen, 2000) *Coltop3D* è in grado di classificare tutti i punti aventi stessa direzione di immersione e inclinazione con un unico colore; i colori così ottenuti vengono poi rappresentati su uno stereogramma con proiezioni di tipo *Schmidt-Lambert*.

Con questa tecnica è possibile indagare porzioni di versante e/o parete che mostrano situazioni di difficile accesso o che comportano rischi per l'operatore, come per esempio le nicchie di distacco presenti sul versante meridionale del *Mount Rouge de Peuterey* (Fig. 6).

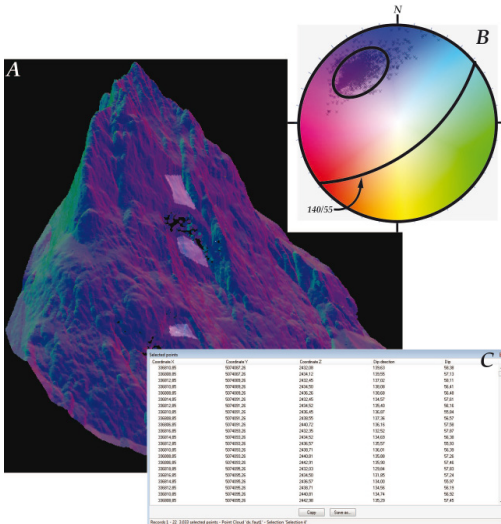


Figura 6 – Ambiente di lavoro in Coltop 3D. A: poligoni selezionati. B: stereogramma di Schmidt – Lambert. C: punti selezionati (x, y, z, dp dir, dip) in formato ASCII.

RISULTATI

Analisi stabilità dei versanti

Le pareti rocciose dei versanti meridionali del Mont Rouge di Peuterey conservano tutta una serie di nicchie di frana a coronamento circolare che ne caratterizzano la morfologia superficiale e ne testimoniano la recente dinamica evolutiva (Amerio, 2004; Chiarle, 2000). Al fine di individuare il cinematisismo del movimento è stato condotto uno studio di questo settore di versante mediante il *Coltop3D*. Il DEM utilizzato per questo tipo di analisi deriva dal rilievo lidar effettuato dalla regione autonoma Valle d'Aosta nel 2008.

Dopo un'opportuna preparazione del dato si importa la nuvola di punti all'interno del software. La nuvola di punti verrà visualizzata colorata secondo la codifica adottata dal *Coltop3D*.

E' possibile inoltre scegliere la modalità di visualizzazione che maggiormente enfatizza le caratteristiche della parete rocciosa . A questo punto mediante un opportuno comando si

selezionano, sotto-forma di poligoni, le aree di maggiore interesse. Per ogni area verrà così visualizzato uno stereogramma di *Schmidt- Lambert* con i punti selezionati. Quest'ultimi possono quindi essere esportati in formato .ASCII per una successiva post-elaborazione.

Con tale tecnica si è quindi riuscito a valutare il cinematiso, attraverso il *test di Markland*, delle inaccessibili nicchie di distacco dei versanti in questione, cosa pressoché impossibile con un rilievo di tipo tradizionale (Fig. 7).

Analisi morfo-strutturale del bacino glaciale del Miage

Utilizzando i dati ottenuti con le varie tecniche sopra esposte (fotogrammetria terrestre, aerea, *Coltop 3D*, LiDAR) è stato possibile effettuare un'analisi morfo-strutturale del bacino glaciale del Miage (Bacenetti, 2010); si sono così potute individuare 5 principali famiglie di discontinuità che caratterizzano tale settore (Fig. 8).

Joint Set	Dip Dir	Dip
A	173	57
B	10	70
C	293	67
D	145	65
E	70	69

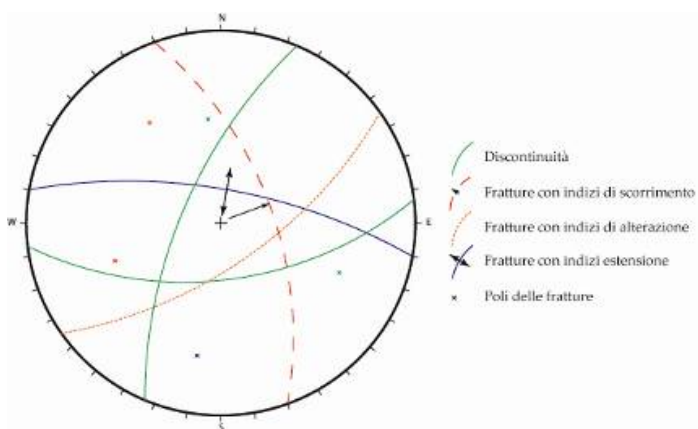


Figura 8 – Stereogramma strutturale dei principali sistemi di discontinuità che caratterizzano il bacino glaciale del Miage. Reticolo di Schmidt, emisfero inferiore, proiezione stereografica equiareale.

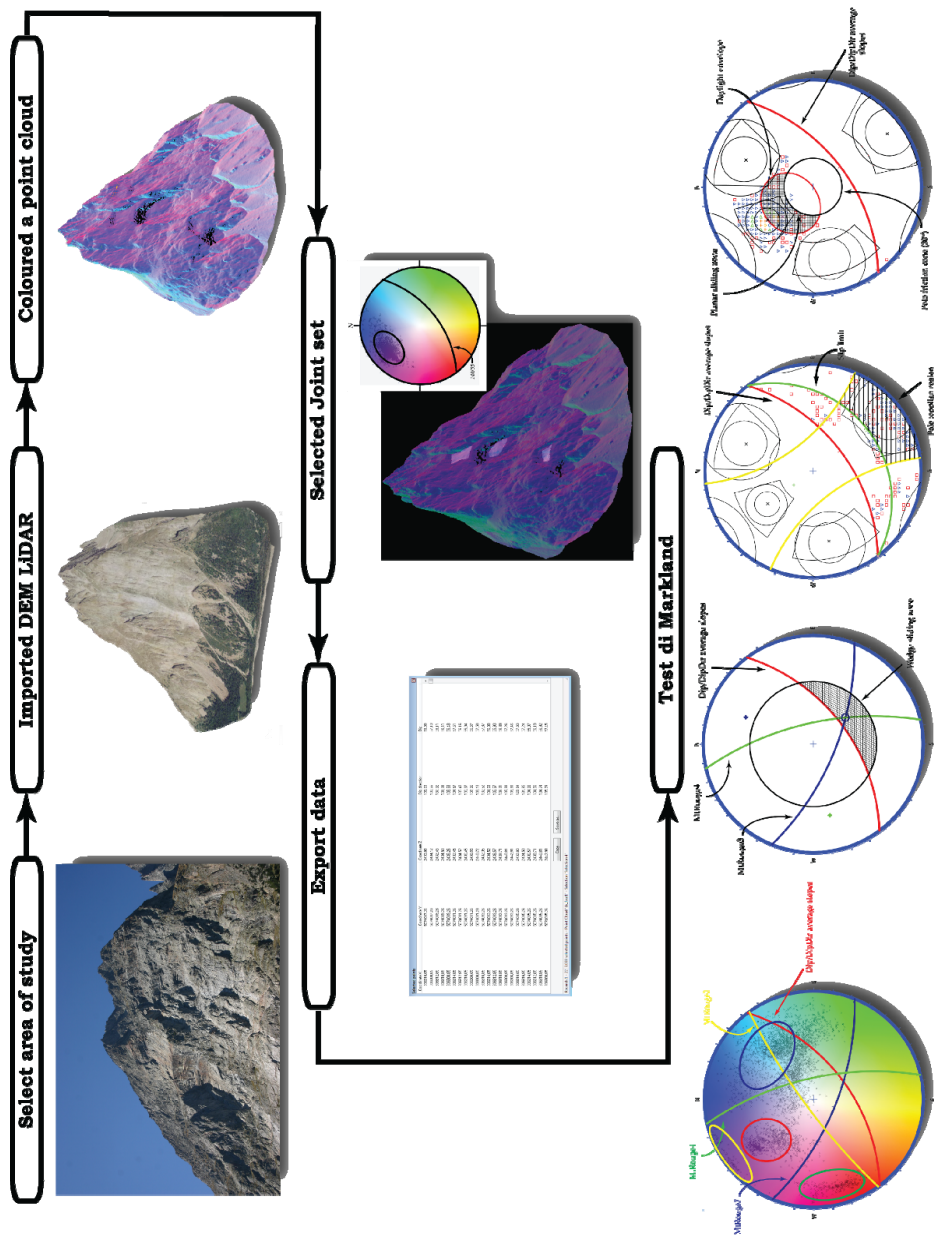


Figura 7 – Workflow in ambiente Coltop 3D per lo studio delle nicchie di distacco del Mount Rouge de Peuterey.

CONCLUSIONI

L'applicazione di metodologie innovative ha favorito l'integrazione dei dati e la loro interpretazione ai fini geomorfologici. Caratteristica intrinseca delle tecniche di *remote sensing* è quella di permettere una modellazione completa del versante. Esse consentono di procedere all'analisi dell'intero pendio (Fig. 9), al contrario del rilievo tradizionale che, soprattutto nei settori impervi quale quello in oggetto, non può essere spinto troppo in quota ma si sviluppa unicamente nelle zone accessibili alla base della parete, con pericoli oggettivi quali ad esempio la presenza di falde di detrito instabile o di blocchi in equilibrio precario, sia sul versante che sui conoidi detritici alla base. L'accessibilità dell'oggetto da investigare è un problema importante nel rilevamento geomorfologico. Le metodologie utilizzate nel presente lavoro, se accuratamente calibrate, possono sostituire l'operatore in parete per il rilievo delle condizioni morfo-strutturali degli ammassi rocciosi in quei contesti ove pericoli oggettivi (es. caduta blocchi) non permettono il contatto diretto con la parete. Per contro, un limite del rilievo a distanza è stato evidenziato già nella fase di acquisizione dati, ancor prima di affrontarne il trattamento: esso è caratterizzato dalla mancanza di contatto diretto tra rilevatore e la parete oggetto di studio. Ci si riferisce all'impossibilità di rilevare adeguatamente a distanza tutta una serie di parametri necessari per la caratterizzazione completa dell'ammasso: riempimento terroso nelle fratture aperte, circolazione idrica (a meno che non sia tanto evidente da essere osservabile dalle immagini fotografiche e comunque difficilmente quantificabile), analisi dello stato di alterazione delle superfici, rugosità, mineralizzazioni, presenza di indicatori cinematici. Pertanto già nella fase di rilievo a distanza è stato possibile individuare tutta una serie di vantaggi e svantaggi intrinseci dell'applicazione delle tecnologie impiegate, non ultima la possibilità di procedere all'analisi del dato in laboratorio, minimizzando il tempo necessario al rilievo sul terreno, fattore anch'esso determinante in contesti climatici particolari quali quello dell'alta montagna.

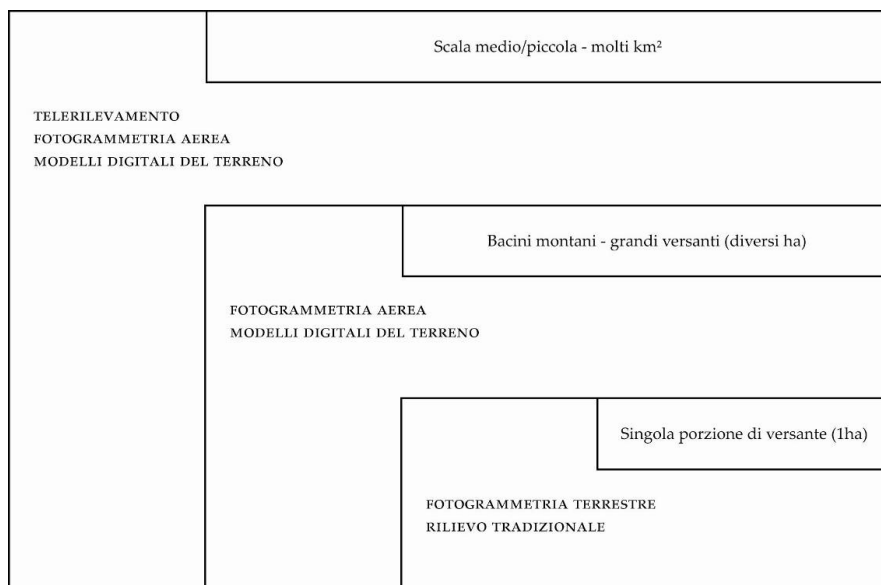


Figura 9 – Metodologie applicate alle diverse scale di indagine.

Bibliografia

- Amerio M. (2004) *Pericolosità geomorfologica e interazioni con l'attività antropica in alta montagna: il caso del bacino glaciale del Miage e della bassa Val Veny (Monte Bianco)*, Tesi di Laurea Magistrale, Università degli Studi di Torino. 244 pp.
- Bacenetti M. (2010) *Integrazione di rilevamenti tradizionali di terreno e tecniche geomatiche per l'analisi strutturale della Val Veny (Courmayeur, Aosta)*, Tesi di Laurea Magistrale, Università degli Studi di Torino. 283 pp.
- Birch J. (2006) "Using 3dm analyst mine mapping suite for rock face characterization" In Tonon, F. and Kottenstette, J. (Eds.), *Laser and Photogrammetric Methods for Rock Face Characterization*, ARMA, pp. 13-22.
- Chiarle M. (2000) *Analisi dei pericoli naturali in ambiente glaciale*, Phd thesis, Politecnico di Torino, Torino, Italy.
- Deline P. (2009) "Interactions between rock avalanches and glaciers in the montblanc massif during the late holocene" *Quaternary Science Reviews*, 50, 1070–1083.
- El-Hakim S., Beraldin J., Blais F. (2003) "Critical factors and configurations for practical 3d image-based modeling", In *6th Conference on 3D Measurement Techniques*, Zurich, Switzerland, September 22-25.
- Fraser C. (1996) *Network design*, In Atkinson, K.B. (Ed.), *Close Range Photogrammetry and Machine Vision*. Whittles Publishing.
- Jensen J. (2000) *Remote Sensing of the Environment: an Earth Resource Perspective*, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. 544 pp.
- Jones A.; Brewer P.; Johnstone E.; Macklin M. (2007) "Highresolution interpretative geomorphological mapping of river valley environments using airborne lidar data", *Earth Surface Processes and Landform*, 32, 1574–1592.
- Lemoine M., De Graciansky P., Tricart P. (2000) *De l'océan à la chaîne de montagnes. Tectonique des plaques dans les Alpes*, Gordon and Breach Science Publishers, Paris. 208pp.
- Perello P., Piana F., Martinotti G. (1999) "Neo-alpine structural features at the boundary between the penninic and helvetic domains (Pré S. Didiér – entrèves, Aosta valley, Italy)" *Eclogae geol. Helv.*, 92, 347-359.
- Perotti L. (2007) *Geomorfologia e Geomatica: nuovi strumenti e metodi per il rilevamento e la cartografia tematica*, Phd thesis, Università degli Studi di Torino, Facoltà di Scienze Matematiche Fisiche e Naturali, Dipartimento di Scienze della Terra.

Utilizzo di immagini quickbird-2 nella classificazione di tipologie forestali nel sud del Brasile

Vagner Alex PESCK (*), Attilio Antonio DISPERATI (*)*(in memoriam)*,
Juliana DISPERATI (**), João Roberto dos SANTOS (***)

(*) UNICENTRO, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Departamento de Engenharia Florestal
PR-153. Km 7, Bairro: Riozinho, 84.500-000, Irati, Paraná, Brasil, email: vagneralexp@yahoo.com.br

(**) Libero professionista, email: juliana.disperati@google.com

(***) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Departamento de Sensoriamento Remoto
Av. dos Astronautas, 1758, São José dos Campos, SP, 12.227-010, Brazil, email: jroberto@dsr.inpe.br

Abstract

The main purpose of this study is to map the crowns of *Araucaria angustifolia* in a Quickbird-2 image using the classification object oriented technique. The study area is located in fragment of Araucaria forest located on National Forest of Irati – PR- Brazil. The object-oriented classification, was made using the composition 4R3G2B, it was tested the algorithm *K nearest neighbor* with a supervised classification and a classification based on *fuzzy logic* rules. The image Quickbird-2 was efficient for the identification of the species *Araucaria angustifolia* tested in both classifications.

1. Introduzione

La Foresta Ombrofila Mista (FOM) anche conosciuta come Foresta di Araucaria è considerata una parte dominante della Foresta Atlantica, si trova prevalentemente nella regione sud del Brasile, originariamente occupava circa 185.000 Km² estesa nella regione sudovest. Attualmente, a causa dello sfruttamento del suo legno e dello sviluppo economico derivato dalla occupazione delle terre con elevato potenziale agricolo e di allevamento nella regione sud, si è verificata una drastica riduzione di questa tipologia forestale, rimanendo attualmente 5% dell'area iniziale, con meno dell'1% di foresta considerata di formazione primaria. Il Ministero dell'Ambiente (MMA) realizza studi finalizzati a valutare la situazione delle foreste rimanenti e creare alcune "unità di conservazione" con l'obiettivo di mantenere i corridoi ecologici rimasti, recuperare gli ecosistemi di queste foreste devastate, così da minimizzare la condizione critica.

La disponibilità di dati satellitari di elevata risoluzione spaziale ha facilitato gli studi di mappatura e monitoraggio a livello locale di queste tipologie forestali (Dlugoz 2005, Lisboa 2009, Disperati et al, 2010) e all'interno di questo contesto sarà sviluppata questa ricerca. Pertanto, utilizzando le tecniche di classificazione orientata ad oggetto tramite l'algoritmo *K Nearest Neighbor* e la classificazione basata sulla logica *fuzzy* nel trattamento delle immagini Quickbird-2, si dimostra-il potenziale di queste immagini nella classificazione e nel delineamento di *Araucaria angustifolia* in un frammento della Foresta Ombrofila Mista (FOM). Si ritiene in questo modo di poter contribuire alla pianificazione e gestione di questa tipologia forestale.

In accordo con la struttura metodologica, si è cercato di delineare le singole chiome o gruppi di Araucarie secondo i principi di Gougeon (1995), Brandtberg (1997), che nei loro studi hanno utilizzato diverse tecniche digitali per una successiva stima del grado di copertura di chiome, densità arborea e composizione delle specie di alberi che occorrono nelle aree considerate. Questi lavori sono stati condotti in foreste pure o miste con conifere. Secondo Warner (et al., 1999), la forma conica delle chiome delle conifere favorisce la delineazione automatica, visto che nelle immagini ad elevata risoluzione le chiome presentano bordi ben distinti e con un punto di riflettanza massima, in genere la cima dell'albero (local maximum). Al contrario, le chiome di latifoglie sono

più complesse per e struttura (tipicamente con molti punti di massimo e con bordi meno distinti) rispetto alle conifere ed a causa di ciò sono più difficili da delineare automaticamente (WARNER et al., 1999).

2. Materiali e metodi

2.1 Area di studio

L'area di studio è ubicata nella Foresta Nazionale di Irati (FLONA di Irati), coordinate piane fuso 22, N=7.192.900 e E=543.100, localizzate nei comuni di Fernandes Pinheiro e Teixeira Soares, nello Stato del Paraná. L'area ha un'estensione di 3.495 ettari; la FLONA ha ancora il 36% di foresta ombrofila mista primaria, con predominio *Araucaria angustifolia*, il sottobosco è ricco di latifoglie come *Ilex paraguariensis*, *Ocotea porosa*, *Ocotea odorifera*, *Cedrela fissilis*. Per questa ricerca forestale è stato selezionato un settore di 10 ettari, precedentemente georiferito, con dettagliato inventario. Secondo la classificazione climatica di Köppen, la regione presenta clima del tipo Cfb con frequente gelo nella stagione invernale. La temperatura media massima è di 24,2°C e la media minima è di 11,0°C. La media delle precipitazioni mensile è di 194 mm e la media dell'umidità relativa mensile è del 79% (MAZZA, 2006).

2.2 Metodologia

In questa ricerca sono state utilizzate immagini Quickbird-2 nella composizione (4R3G2B) fuse secondo la metodologia dei Principali Componenti (PESCK, 2010). Fotografie aeree aventi scala 1:2000 sono state utilizzate come ausilio nell'identificazione della specie *Araucaria* tra le latifoglie; queste, unite alle informazioni ottenute dai sopralluoghi, hanno contribuito alla definizione dei segmenti di formazione e/o test per la valutazione della performance dei classificatori utilizzati.

Nella figura 1 è possibile osservare il diagramma di flusso delle attività svolte nella classificazione dell'immagine Quickbird-2, il cui procedimento ha previsto la definizione di 4 classi tematiche: *Araucaria*, Latifoglie, agricoltura e ombre.

Sinteticamente è possibile descrivere la metodologia utilizzata in questo modo: durante la segmentazione, a primo livello, è stato utilizzato l'algoritmo "edge based segmentation", con la sola manipolazione del parametro scala.

Quest'algoritmo unisce i pixels adiacenti con le stesse proprietà spettrali, date da:

(a) Simile grandezza: $|kri(x, y) - kri(x_0, y_0)| \leq T$ per qualsiasi soglia di differenza di grandezza T.

(b) simile orientamento: $|RI(x, y) - RI(x_0, y_0)| \leq A$ per un limite angolare A.

La quantità di segmenti (oggetti) generati dall'immagine dipende dalla definizione, dal parametro di scala e anche dell'utilizzo opzionale della funzione "merging segments" (secondo livello) contenuto nell'algoritmo utilizzato "Full Lambda-Schedule" (ROBINSON, REDDING AND CRISP; 2002). Nel presente caso i vari livelli di scala sono testati per il primo livello e è stato fissato un valore per il secondo livello. Al termine della fase di segmentazione dell'immagine, sono stati computati tutti gli attributi (spaziali, spettrali, tessitura e motivi di bande) degli oggetti e successivamente sono stati esportati nel software ArcGis 9.3®, visualizzando il comportamento degli oggetti (segmenti) in relazione ad un determinato attributo, che sono stati spazializzati nell'immagine Quickbird-2.

Per classificare l'immagine Quickbird-2 sono stati adoperati due algoritmi implementati in *EnviroZoo*; uno è una classificazione supervisionata (*K Nearest Neighbor*) e l'altro una classificazione secondo regole via logica (*Fuzzy Membership Functions*). Nella classificazione supervisionata sono stati selezionati dei segmenti prova, basati sulla corrispondenza delle informazioni interpretative delle fotografie aeree e delle informazioni dei sopralluoghi; sono stati ottenuti: 70 campioni per la classe "Araucaria", 55 per la classe "latifoglie", 15 per la classe "agricoltura" e 15 per la classe "ombra".

Nella classificazione *fuzzy logic* in genere sono stati calcolati gli attributi delle immagini in maniera automatizzata, tramite le caratteristiche spaziali, spettrali, tessitura e motivi di banda, che possono

essere utilizzati insieme o singolarmente, per mappare le classi interessate. Per il presente studio, per le classi “Araucaria” e “latifoglie” è stato utilizzato NDVI, per la classe “agricoltura” sono state utilizzate le regole spaziali “area”, “elongation” e “valore minimo della banda verde” e per la classe “ombra” è stato utilizzato l'attributo “intensità”.

Per valutare i risultati delle classificazioni sono state generate matrici di confusione e analizzati i valori dell'indice *Kappa*.

3. Risultati e discussione

Nella prima fase della procedura di segmentazione dell'immagine QUICKBIRD sono stati testati diversi tipi di livello di scala (spaziale). Tra essi è stato poi scelto il migliore da utilizzare nella stratificazione come di seguito spiegato.

Nella Figura 2 è possibile osservare il risultato della stratificazione dei livelli 70, 75, 80 e 85.

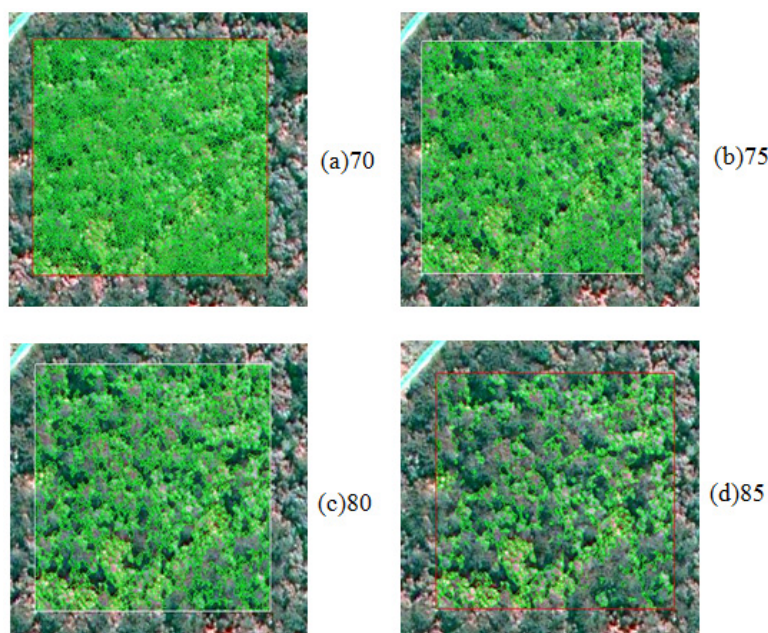


Figura 2 – Valori di scala testati.

I livelli di scala 70 (fig. 2a) e 75 (fig. 2b) presentano un elevato numero di segmenti, le cui scale non soddisfano lo standard delle chiome arboree. Il livello di scala 80 è stato quello che si è avvicinato maggiormente all'architettura della chioma, ma con la complicazione principale dovuta alla presenza di più di un segmento che separa un'unica chioma. Il livello di scala 85 ha prodotto un risultato eccessivo rispetto alle aspettative, poiché ha generato segmenti che raggruppavano molte chiome, non riproduceva infatti la realtà e/o se confrontato con il delineamento fotointerpretativo delle fotografie aeree. Prendendo il valore 80 come riferimento al primo livello di segmentazione, successivamente è stato applicato e definito il valore di scala 90 per il secondo livello di segmentazione.

Dopo le prove di segmentazione sono state eseguite due classificazioni. Nella figura 3 è possibile vedere il risultato tematico della classificazione supervisionata *K Nearest Neighbor*, la cui analisi di prestazione ha mostrato una precisione media dell'89% e l'indice *Kappa* uguale a 0,83 (varianza *Kappa* di 0,001577). Secondo i criteri di LANDIS e KOCH (1977) il valore di precisione si interpreta come un livello eccellente di classificazione.

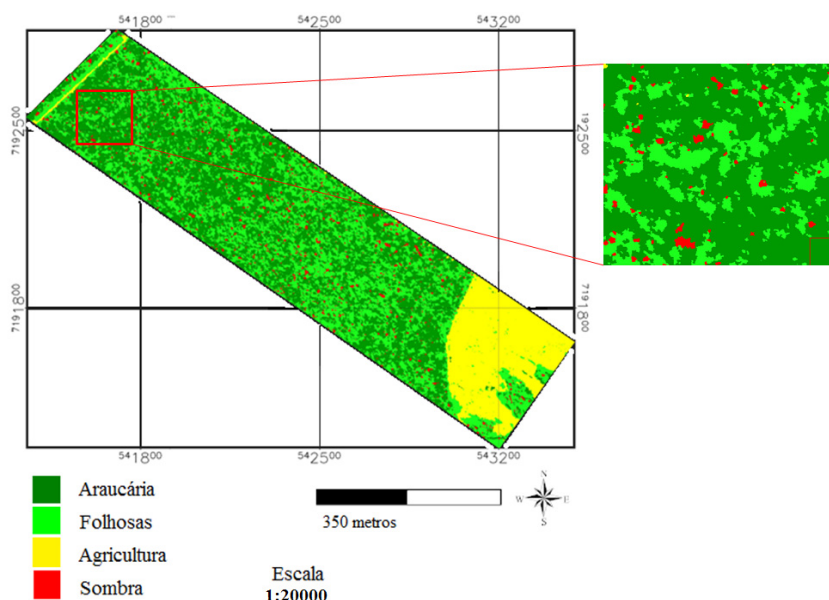


Figura 3 – Mappa tematica risultante della classificazione supervisionata.

Nella classificazione secondo *fuzzy logic* (Figura 4), come indicato nella metodologia, si sono definite come regole gli attributi spaziali, spettrali e motivi di banda, provati in maniera singolare o in gruppi, per l'identificazione e la stratificazione di temi nell'immagine Quickbird2. Per le classi "Araucaria" e "latifoglie" è stata definita la regola *bandratio* (NDVI), che si è dimostrata migliore rispetto alle altre. Tale regola è stata delimitata in un intervallo compreso tra $0 > 0.4200$ per le "Araucaria", e per la classe "latifoglie" inserita la negazione "*not*" con il medesimo intervallo. SOUSA et. al (2010), hanno utilizzato NDVI come banda ausiliaria per classificare le due specie dominanti di conifere (*Quercus suber* e *Pinus pinea*) nella regione di Alentejo-Portogallo, con la rilevazione della vegetazione nelle immagini Quickbird-2, ed evidenziano che il periodo di acquisizione delle immagini è un fattore fondamentale nella possibilità di distinguere le due specie forestali.

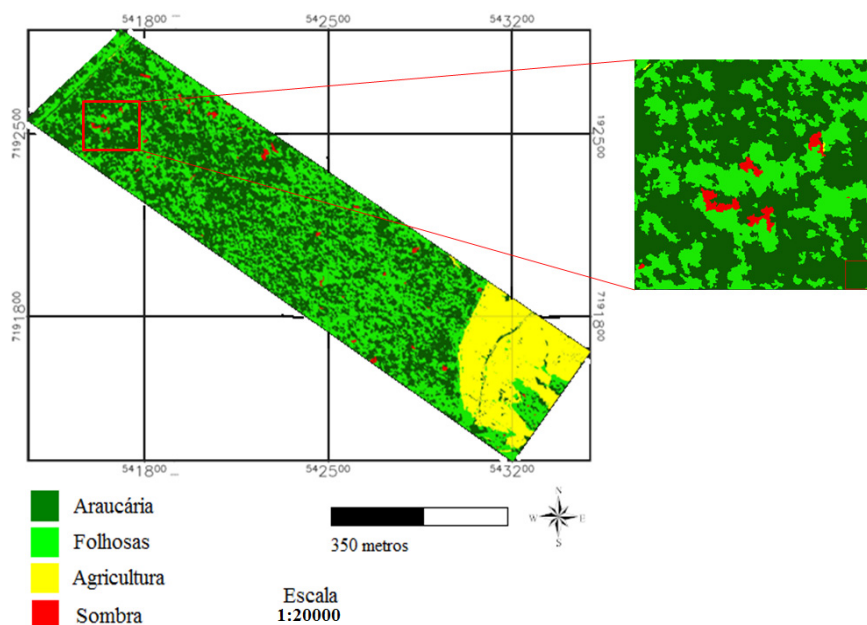


Figura 4 – Mappa tematica risultante della classificazione con la metodologia fuzzy logic.

Nella classe “agricoltura” è stata applicata la regola “area” inserita in un intervallo compreso tra 1316,56 – 311419,66 pixels, tale superficie corrisponde alla dimensione del segmento generato. Tuttavia, quando è stata applicata questa regola alla classe “agricoltura”, un raggruppamento di chiome di Araucaria è risultato incluso tra le aree risultanti dalla classificazione; affinché le chiome venissero distinte è stato necessario aggiungere anche la regola “valore minimo di banda 2 (verde)” con l'intervallo tra 0 e 17 (DN).

Questo *range* da 0 a 17 è il valore digitale del segmento sopra descritto, in modo da eliminare questo gruppo dalla classe “agricoltura”. E' importante evidenziare che per tutte le regole è stata utilizzata una tolleranza *fuzzy* di 5%, eccetto che per la regola “valore minimo di banda 2” (classe “agricoltura2), perchè il gruppo di chiome riferito si trovava esattamente in questo intervallo. Nella classe “ombra” è stato applicato il valore minimo della banda 2 (verde) con intervallo tra 9 e 12,5 a causa dei bassi valori di riflettanza osservata in questa classe.

La classificazione secondo le regole ha rilevato un indice *Kappa* di 0,82 (varianza di *Kappa* = 0,001634), definendo la classificazione come eccellente ed una accuratezza globale dell'88%. DISPERATI et al. (2009), hanno verificato l'utilizzo della banda infrarosso vicino nell'immagine Quickbird, non ortorettificata, per mappare le chiome di Araucaria ottenendo un indice *Kappa* di 0,79, un valore inferiore a quelli trovati nel presente elaborato.

Nel calcolo della precisione del produttore e dell'utilizzatore la classe “Araucaria” ha presentato i valori di 84,4% e 85,3% rispettivamente nella classificazione per regole e supervisionata. Nell'accuratezza dell'utilizzatore nella classificazione secondo regole, le classi “latifoglie” e “Araucaria” hanno presentato i valori più elevati, 96,36% e 92,86% rispettivamente.

4. Conclusioni

Nella segmentazione di immagine Quickbird i livelli di scala più adeguati per delimitare le chiome della specie *Araucaria angustifolia*, sono stati per il primo e il secondo livello rispettivamente i valori 80 e 90. Comparando la performance delle classificazioni tramite regole (*Fuzzy Membership Functions*) e la classificazione supervisionata (*K Nearest Neighbor*) è possibile verificare che non

esiste una differenza significativa nei valori dell'*indice Kappa* e la precisione globale. Essendo quindi entrambi i procedimenti adeguati per la distinzione e delineamento di *Araucaria angustifolia* per la copertura ed utilizzo del suolo dove domina la Foresta Ombrofila Mista. È importante notare che la classificazione tramite regole necessita di maggiore tempo computazionale, a causa della definizione degli attributi e le sue variazioni per classificare l'immagine, la quale rende importante una maggiore conoscenza e controllo sul comportamento spaziale e spettrale degli oggetti in studio.

Ringraziamenti

Il supporto tecnico della SULSOFT.

Il programma di Master in Scienze Forestali – Unicentro.

Il Prof. Ing. Attilio Antonio Disperati (*in memoriam*) per l'incentivazione alla ricerca delle foreste di Araucaria.

5. Bibliografia

BRANDTBERG, T. Remote sensing for forestry application – a historical retrospect. 1997. 9 p. www.dai.ed.ac.uk/CVonline/LOCAL_COPIES/BRANDTBERG/UK.html.

DISPERATI, A. A., PESCK, V. A., DISPERATI, J., [SANTOS, J. R.](#), RUDEK, A., [FIGUEIREDO FILHO, A.](#) Identificazione di chiome di *Araucaria angustifolia* nella banda dell'infrarosso vicino, fornite da Quickbird 2, In: *13ª Conferenza Nazionale ASITA* (Federazione Italiana delle Associazioni Scientifiche per le Informazioni Territoriali e Ambientali), ANAIS, 2009, Bari - Italia. p. 1005-1010, 2009.

DLUGOSZ, F. Classificação orientada a regiões na discriminação de tipologias da Floresta Ombrófila Mista usando imagens orbitais Ikonos. **Dissertação de Mestrado** em Ciências Florestais – Universidade Federal do Paraná-UFPR, Curitiba, PR. 135 p. 2005.

GOUGEON, F. A. Automatic individual tree crown delineation using a valley-following algorithm and a rule-based system. In **International Forum Automated Interpretation of High Spatial Resolution Digital Imagery for Forestry**, Victoria, Canada, Canadian Forest Service, pp. 11-23, 1999.

LANDIS, J., KOCH, G. G. The measurements of agreement for categorical data. **Biometrics**. v.33, n. 3, p. 159-179, 1977.

LISBOA, G.S. Fotografias aéreas de escala grande e imagem Ikonos-2 no mapeamento de copas de *araucaria angustifolia*. **Dissertação de Mestrado** em Ciências Florestais – Universidade Estadual do Centro Oeste - UNICENTRO, Irati, PR. 104p. 2009.

MAZZA, Carlos Alberto da Silva. Caracterização ambiental da paisagem da Microregião Colonial de Irati e zoneamento ambiental da Floresta Nacional de Irati, PR. **Tese de Doutorado**, São Carlos/SP: UFSCar, 2006. 147 p.

PESCK, V.A. Classificação orientada ao objeto de imagem Quickbird-2 para a identificação da Araucária. **Dissertação de Mestrado**, Irati, PR : UNICENTRO, 2011. 76 p.

ROBINSON, D. J., REDDING, N. J., AND CRISP, D. J. *Implementation of a fast algorithm for segmenting SAR imagery*, **Scientific and Technical Report**. Australia: Defense Science and Technology Organization 2002.

SOUSA, A.M.O.; MESQUITA, P.; GONÇALVES, A.C.; SILVA, J.R.M. Segmentação e classificação de tipologias florestais a partir de imagens Quickbird. **Ambiência** - Revista do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais V. 6 Edição Especial. 2010. p 57 - 66.

COSMO-SkyMed: tecniche ed applicazioni per l'osservazione della terra tramite VHR SAR

Luca Pietranera, Filippo Britti, Lucio Cesarano, Vittorio Gentile,

e-GEOS, Via Cannizzaro 71, 00156 Roma, Italy, -Tel. & Fax 0640791

luca.pietranera@e-geos.it filippo.britti@e-geos.it

lucio.cesarano@external.e-geos.it vittorio.gentile@external.e-geos.it

Introduzione

Il sistema satellitare dell'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) COSMO-SkyMed è composto da una costellazione di 4 satelliti per l'osservazione della terra equipaggiati con sensori SAR in banda X e dal relativo segmento di terra; consente la copertura globale del pianeta in qualsiasi condizione meteorologica e di illuminazione, ad elevatissima risoluzione spaziale e in multi-modalità operativa con tempi di risposta molto rapidi e breve tempo di rivisita. ASI e Telespazio hanno costituito la società e-GEOS per la distribuzione commerciale dei prodotti del sistema COSMO-SkyMed.

Settori applicativi

Molteplici sono i settori nei quali le immagini di COSMO-SkyMed trovano applicazione; le liste che seguono riassumono i principali campi applicativi.

Gestione delle risorse e del territorio (Agricoltura e Foreste – deforestazione, degradazione forestale, tipo di colture, stime di produzione, siccità e desertificazione, controllo erogazione contributi-, Risorse idriche - monitoraggio dei corsi d'acqua-, Lotta all'abusivismo, Controllo traffico costiero, Inventario delle risorse, Supporto alla pianificazione del territorio, cartografie e cartografie tematiche, Monitoraggio siti archeologici)

Monitoraggio e stabilità del terreno (Frane, Controlli interferometrici per misura di subsidenza edifici e suoli, monitoraggio fenomeni franosi a lento movimento)

Gestione delle emergenze e delle calamità naturali (Alluvioni, Incendi, Terremoti, Eruzioni sia durante la fase di emergenza che nella fase del post calamità).

Controllo e tutela dell'ambiente (Gestione dei rifiuti, Monitoraggio delle discariche, Individuazione discariche abusive, Lotta al crimine ambientale, Siccità e Desertificazione, Inquinamento del suolo e delle acque, Monitoraggio sistema pesca, acquacoltura, maritime surveillance, sia commerciale che per security, Oil spill)

Security e Intelligence (Monitoraggio strategico di siti e infrastrutture sensibili, dei confini, rilevamento di tracce al suolo e di altre attività umane)

Potenziali utilizzatori

I principali utilizzatori coinvolti, sia a livello di gestori/fornitori sia di utenti finali sono a titolo di esempio: la Protezione civile, i Vigili del fuoco, gli Assessorati (Lavori pubblici, Ambiente, Agricoltura, Urbanistica, ecc.), l'Agenzia delle entrate, il Catasto, la Marina mercantile, la Guardia Costiera, le Autorità di bacino, la Sovraintendenza siti archeologici, Enti/Aziende interessate all'utilizzo del territorio e delle sue risorse.

Tecniche e applicazioni

E-Geos impiega le proprie consolidate competenze nell'ambito delle analisi di immagini satellitari, applicandole ai dati forniti dal sistema COSMO-SkyMed.

Nel seguito sono graficamente illustrate alcune delle principali tecniche di analisi dei dati SAR COSMO-SkyMed utilizzate per la messa a punto di specifiche applicazioni.



Figura 2– Single image analysis- Flooding.

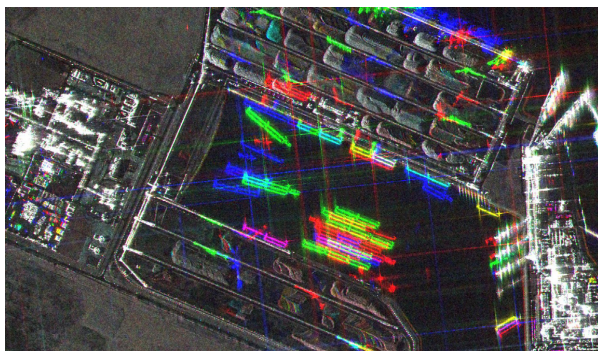


Figura 1 – Change Detection -Harbor activities.

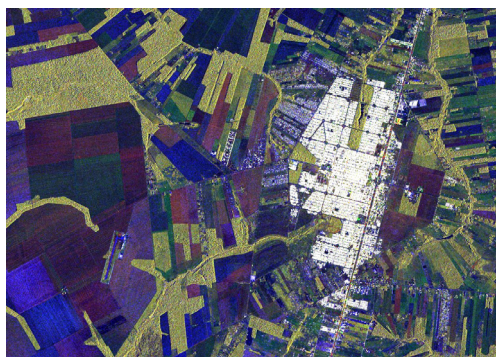


Figura 3 – Multitemporal with coherence - Thematic map.



Figura 4 – Interferometry-Permanent Scatterers.

Conclusioni

e-Geos è in grado di fornire servizi basati su applicazioni operative e attività di supporto all'utilizzo dei dati COSMO-SkyMed attraverso ad esempio, accordi di collaborazione, sessioni di formazione e sviluppo di applicazioni specifiche attraverso progetti pilota

Bibliografia

COSMO-SyMed very high resolution data in support to key sites monitoring : a novel approach for sensitive areas characterization and change detection based on vhr-sar coherent multitemporal analysis", N. Bertoni, F. Britti, L. Cesarano, V. Gentile, G. Giusto, L. Pietranera, 'Let's embrace space - FP7 space conference 2011', 12-13 May 2011 in Budapest, Hungary'

The COSMO-SkyMed Very High Resolution SAR satellites constellation for Earth observation and its applications in support of monitoring activities Pietranera, Gentile, Cesarano, Britti
Safeguards Symposium 2010 Preparing for Future Verification Challenges, Vienna 1-5 November

GEOSIS web

Maurizio Pignone, Raffaele Moschillo

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia Sede Irpinia, C.da Ciavolone – 83035 Grottaminarda (AV),
Tel. 0825-446057, Fax 0825-421937, e-mail: maurizio.pignone@ingv.it, raffaele.moschillo@ingv.it

Riassunto

L'esperienza fatta nell'utilizzo del Geodatabase di ESRI ha permesso di poter centralizzare in unico ambiente i numerosi dati territoriali, geologici e sismologici presenti nelle banche dati prodotte negli ultimi anni dall'INGV ed altri Enti. Prendendo spunto anche dai report realizzati dall'USGS per descrivere i terremoti più importanti, si è pensato di creare degli strumenti di sintesi e di consultazione rapida di queste informazioni in relazione ad un evento sismico avvenuto sul territorio italiano. Nasce così l'idea di "inquadrare" la localizzazione di un terremoto non solo nel suo contesto territoriale, ma allargandola ad altre utili informazioni derivanti dalle banche dati e dagli studi prodotti dall'INGV.

Lo scopo di GEOSIS Earthquake Report è appunto quello di inquadrare un evento sismico in 5 viste tematiche all'interno di un report cartografico in formato A3: inquadramento territoriale, classificazione sismica, pericolosità sismica, sismicità storica, sismicità recente. L'utilità dei report cartografici si è evidenziata soprattutto nelle fasi di un'emergenza sismica come strumento di sintesi immediata e di facile lettura delle varie caratteristiche sismologiche e sismotettoniche del territorio colpito dall'evento sismico.

Proprio in queste fasi si è però evidenziato il punto debole dei report: la loro staticità. Infatti è venuta fuori l'esigenza di avere un'applicazione che potesse dinamicamente aggiornarsi durante una sequenza sismica e che desse all'utente la possibilità di creare scenari personalizzati.

E' stato quindi sviluppato GEOSIS web, l'evoluzione sul Web di GEOSIS Earthquake Report. GEOSIS web trasforma il report cartografico in una applicazione GIS on line che permette all'utente di ricreare le 5 viste predefinite o di creare dei veri e propri scenari interagendo tra i vari strati informativi che compongono le viste. In più GEOSIS web non è centrato su un solo evento sismico ma ha la possibilità di gestire gli ultimi 20 terremoti registrati dalla Rete Sismica Nazionale con magnitudo (ML) maggiore o uguale di 2.0, aggiornati quasi in tempo reale.

Abstract

Experience using ESRI Geodatabase allowed to centralize in one place the many spatial, geological and seismological data contained in the databases produced in recent years by INGV and other institutions. Inspired by the USGS reports made to characterize the most important earthquakes, it was thought to create synthesis and quick reference tools of this information in relation to a seismic event that occurred on Italian territory.

The result is the idea of "framing" the location of an earthquake not only in its territorial context, but extending it to other useful information derived from INGV databases and studies. The aim of GEOSIS Earthquake Report is precisely to frame a seismic event in 5 topics into a A3 cartography report: territorial framework, seismic classification, seismic hazards, historical seismicity, recent seismic activity. The utility of Earthquake Report has been highlighted especially during a seismic emergency as a tool for quick summary and easy to read of the different seismological and seismotectonic characteristics of the area affected by the earthquake. Just at those situations, however, has been pointed out the weak point of this report: their static nature. In fact it is coming

out of the need to have an application that could dynamically be updated during a seismic sequence and which provides the user the ability to create custom scenarios.

It was then developed GEOSIS web, the evolution of GEOSIS Earthquake Reports on the Web. GEOSIS web turns the cartography report into a webGIS application that allows users to create the 5 default views, or create different scenarios with the layers of geographic database.

In addition GEOSIS web is not centered on a single seismic event but it has the opportunity to manage the last 20 events recorded by the National Seismic Network with magnitude (ML) greater than or equal to 2.0, updated in near real time.

Premessa

Il Laboratorio di Cartografia Digitale e Sistemi Informativi Territoriali (LabGIS) della Sede Irpinia dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) si occupa dal 2004 del trattamento dei dati cartografici e territoriali attraverso l'utilizzo dei sistemi informativi geografici (GIS).

Nel corso degli anni sono stati integrati all'interno di database geografici, varie tipologie di informazioni, dai cataloghi di sismicità storica e strumentale alla mappa di pericolosità sismica, dalle sorgenti sismogenetiche alla classificazione sismica dei comuni. Prendendo spunto anche dai poster realizzati dall'USGS (<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/poster/>) per caratterizzare i terremoti più importanti, si è pensato di creare degli strumenti di sintesi e di consultazione rapida di queste informazioni in relazione ad un evento sismico avvenuto sul territorio italiano. Nasce così l'idea di "inquadrare" la localizzazione di un terremoto non solo nel suo contesto territoriale ma allargandola ad altre utili informazioni derivanti dalle banche dati e dagli studi prodotti dall'INGV.

E' appunto questo lo scopo di GEOSIS Earthquake Report (Figura 1), inquadrare un evento sismico in 5 viste tematiche all'interno di un report cartografico in formato A3: inquadramento territoriale, classificazione sismica, pericolosità sismica, sismicità storica, sismicità recente. Oggi i report sono pubblicati sul sito web della Sede Irpinia (www.gm.ingv.it) e sono scaricabili liberamente.

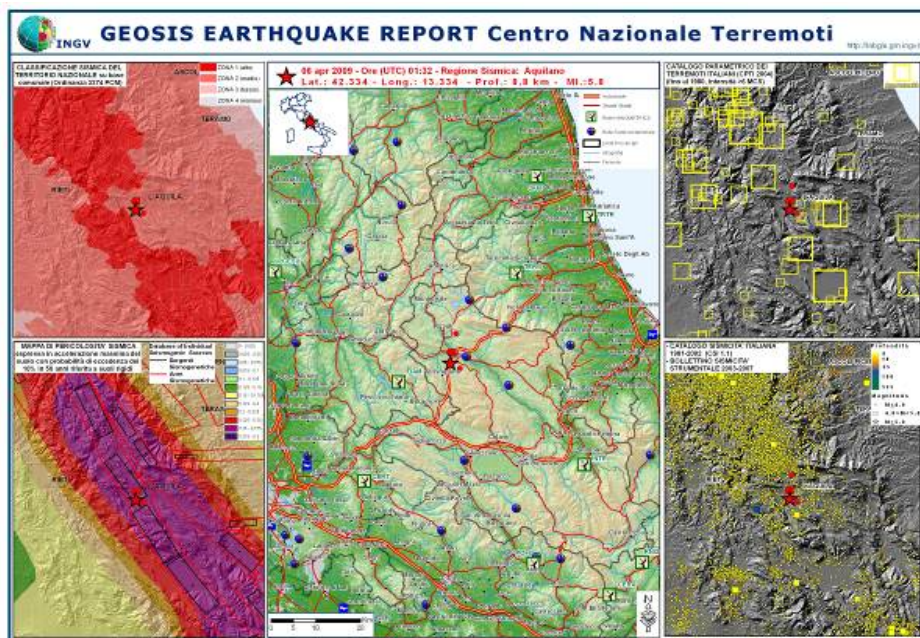


Figura 1 – GEOSIS Earthquake Report dell'evento 6 aprile 2009.

Dagli Earthquake Report a GEOSIS web

L'utilità dei report cartografici si è evidenziata soprattutto nelle fasi di un'emergenza sismica come strumento di sintesi immediata e di facile lettura delle varie caratteristiche sismologiche e sismotettoniche del territorio colpito dall'evento sismico.

Proprio in queste fasi si è però evidenziato il punto debole degli Earthquake Report: la loro staticità. Infatti è venuta fuori l'esigenza di avere un'applicazione che potesse dinamicamente aggiornarsi durante una sequenza sismica e che desse all'utente la possibilità di creare scenari personalizzati.

Nasce così GEOSIS web, l'evoluzione sul Web di GEOSIS Earthquake Report. GEOSIS web trasforma il report cartografico in una applicazione GIS on line che permette all'utente di ricreare le 5 viste predefinite o di creare dei veri e propri scenari interagendo tra i vari strati informativi che compongono le viste.

In più GEOSIS web non è centrato su un solo evento sismico ma ha la possibilità di gestire gli ultimi 20 eventi registrati dalla Rete Sismica Nazionale con magnitudo (ML) maggiore o uguale di 2.0, aggiornati quasi in tempo reale. Si può andare ancora più indietro nel tempo scegliendo anche di visualizzare gli eventi degli ultimi 90 giorni.

I dati presenti in GEOSIS web sono gli stessi utilizzati per la realizzazione degli Earthquake Report, provengono dallo stesso Geodatabase di GEOSIS (Figura 2): sono stati aggiornati i dati riferiti alla sismicità strumentale inserendo i nuovi dati del Bollettino Sismico 2009 (<http://bollettinosismico.rm.ingv.it>) e per l'anno 2010 i dati del database ISIDE (<http://iside.rm.ingv.it>). Aggiornati anche gli strati informativi del DISS versione 3.1.1 (<http://diss.rm.ingv.it>) e quelli dell'ubicazione delle stazioni della Rete Sismica Nazionale.

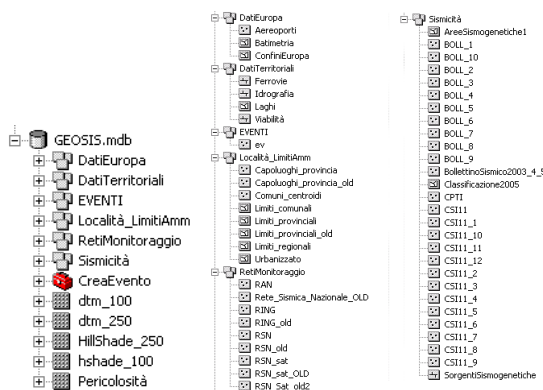


Figura 2 – Struttura e contenuto del Geodatabase di GEOSIS.

Una notevole differenza con i report cartografici è data dalla possibilità di interagire con dati territoriali a diversa scala di visualizzazione e di dettaglio, infatti non esiste più il limite di una scala fissata. Ad esempio per l'inquadramento territoriale, grazie ai dati provenienti da ArcGIS.com (<http://www.arcgis.com/home/>), è possibile scendere nel dettaglio e scegliere di visualizzare strade, foto aeree, elementi topografici e morfologici in perfetto stile Google Maps. I dati provenienti dal Geodatabase sono pubblicati come servizi di mappa (*map services*): GEOSIS web è infatti basato sulla tecnologia ESRI ArcGIS Server, l'applicazione GIS della ESRI che mette a disposizione dell'ambiente server una serie di funzionalità e un ambiente di sviluppo simili ai prodotti GIS desktop.

Con ArcGIS Server è possibile realizzare applicazioni server-based personalizzate per browser, desktop, dispositivi mobili con funzionalità evolute di visualizzazione ed analisi delle informazioni geografiche. ArcGIS Server fornisce agli utenti finali anche numerose applicazioni già pronte

all'uso, oltre a servizi di cartografia, analisi, raccolta e editing di dati e gestione delle informazioni spaziali e supporta l'accesso da parte di diversi client desktop.

La sua peculiarità, quindi, è quella di pubblicare servizi di mappa (*map services*) e configurare in modo semplice varie applicazioni client GIS. L'accesso alle interfacce GIS mediante un browser rende le applicazioni web browser-based immediatamente disponibili sia per visualizzare i dati che per effettuare analisi geografiche. Per GEOSIS web è stata sfruttata la possibilità di ArcGIS Server di creare dei servizi di mappa direttamente da un progetto di ArcMap (.mxd). Infatti per creare un servizio di mappa bisogna prima creare il documento di mappa in ArcMap e poi pubblicarlo come servizio.

In GEOSIS web sono stati utilizzati 4 servizi di mappa (sismicità storica, sismicità strumentale, pericolosità sismica, classificazione sismica) derivanti da altrettanti progetti di ArcMap contenenti i relativi strati informativi (layers) delle 4 viste utilizzate nei progetti dei GEOSIS Earthquake Report. In questo modo è stato possibile trasferire all'interno dei servizi di mappa le stesse proprietà di classificazione, tematizzazione e visualizzazione presenti negli Earthquake Report di GEOSIS. GEOSIS WEB è quindi un webgis (Figura 3) derivato da una customizzazione del visualizzatore di ArcGIS Server per Flex, un'interfaccia utente molto veloce ed immediata per la consultazione e l'analisi dei dati geografici pubblicati su WEB (*map services*).

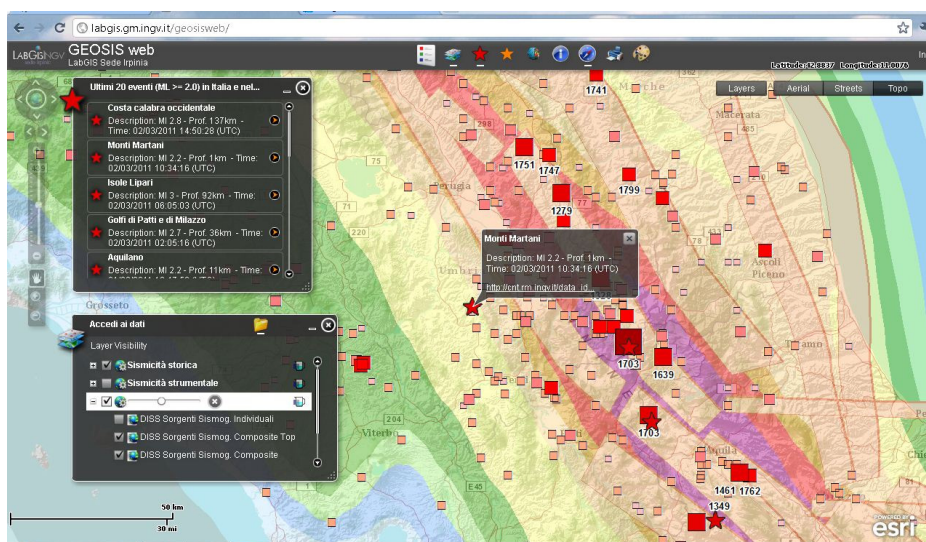


Figura 3 – Interfaccia di GEOSIS web.

Il viewer di ArcGIS per Flex è un prodotto pronto per distribuire applicazioni client configurabili costruito sulle API ArcGIS per Flex. E' progettato per funzionare con ArcGIS Server e rappresenta la soluzione ESRI per la creazione di applicazioni di webgis mapping personalizzate, senza bisogno di programmazione. Con il viewer di ArcGIS per Flex, si possono velocemente creare e distribuire applicazione GIS customizzate di web mapping per la visualizzazione dei dati, l'esecuzione di query interattive, il web editing, l'estrazione dei dati, il geocoding e la stampa.

Le funzionalità nel viewer sono basate su un modello di programmazione estensibile, i widget. I widget sono blocchi di codice portatili che offrono funzionalità in maniera modulare e possono essere facilmente aggiunte o rimosse dal visualizzatore. Molti widget sono inclusi con ArcGIS Viewer per Flex, nuovi widget, e quindi nuove funzionalità personalizzate, possono essere sviluppati utilizzando le API di ArcGIS per Flex.

Anche nel caso di GEOSIS web le funzionalità di base sono state estese con altri i widgets disponibili da parte della comunità ESRI o sviluppati come nel caso della visualizzazione dei terremoti (widget GEORSS). GEOSIS web è possibile consultarlo sia con sistema operativo Windows che MAC OS senza particolari requisiti hardware. Per eseguire l'applicazione basta un comune browser web che abbia installato almeno la versione 10.0.0 del Flash Player di Adobe.

GEOSIS web è stato testato positivamente con i principali browser quali: Microsoft Internet Explorer, Mozilla Firefox, Google Chrome, Safari. Attualmente non funziona su Internet Explorer 8.0 installato su Windows 7 a 64bit perché lo stesso non supporta il Flash Player 10.0.0 ed anche sui dispositivi mobili come Apple I-Phone e I-Pad.

Struttura e funzionalità di GEOSIS Web

Quando viene caricata la pagina iniziale di GEOSIS web (<http://labgis.gm.ingv.it/geosisweb>) compare l'interfaccia grafica del viewer (Figura 4) con le sue componenti principali e gli strumenti sviluppati (widgets).



Figura 4 – Struttura di GEOSIS web.

Come schermata di avvio, l'interfaccia mostra gli ultimi 20 eventi sismici registrati dalla Rete Sismica Nazionale visualizzati nel display principale ed elencati nel widget GEORSS e una serie di servizi web da ArcGIS.com (mappe di base con sfondo "street").

L'utente può interagire con l'applicazione attraverso i componenti dell'interfaccia: Map Switcher, Navigation, Scale Bar, Coordinate, Widget tray e Info panel.

Alcuni widget determinano l'apertura di finestre sul viewer che possono essere spostate dovunque nell'interfaccia ed anche iconizzate per renderle meno ingombranti per la visualizzazione della mappa. Di seguito vengono descritte le principali funzionalità presenti all'interno dei widget:

- *Map Switcher* è un widget presente nell'interfaccia che consente agli utenti di cambiare facilmente le mappe di base presenti nel viewer o di attivare in modo rapido un elenco di altri layers (servizi di mappa) da visualizzare. In genere, le mappe di base sono utilizzati nel viewer per visualizzare immagini di sfondo e dati stradali. Il widget si trova nell'angolo superiore destro dell'interfaccia ed è composta da 4 pulsanti: *Aerial*, *Streets*, *Topo* e *Layers*. Con questo strumento l'utente ha la possibilità di scegliere la base cartografica di sfondo grazie ai servizi web pubblicati da *ArcGIS.com* che comprende vari tipi di mappe di base per tutto il mondo.
- *Navigation* offre un set completo di controlli per la navigazione territoriale all'interno della mappa nel viewer. Esso comprende tutti gli strumenti di navigazione standard di

ingrandimento-riduzione (zoom) e spostamento (pan) della mappa che gli utenti finali si aspettano da un'applicazione *web mapping*.

- *Widget tray*, comprende una serie di widgets che forniscono molte delle funzionalità client GIS fondamentali necessarie per creare facilmente e rapidamente applicazioni personalizzate di web mapping ubicato nella parte superiore dell'interfaccia (Figura 5).



Figura 5 – Widget tray.

- *Widget Accedi ai dati*, è possibile accedere ai servizi di mappa (layers) presenti nelle 4 viste tematiche di GEOSIS: sismicità storica, sismicità strumentale, pericolosità sismica e classificazione sismica. Attivando il widget viene aperta una finestra che consente all'utente di interagire con le funzionalità di accensione/spegnimento dei layers (Figura 6).

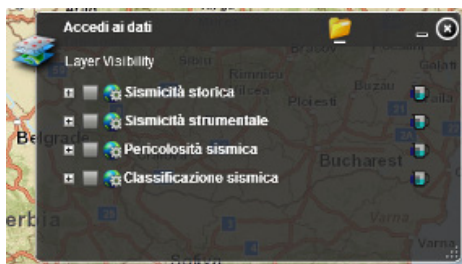


Figura 6 – Finestra widget Accedi ai dati.

- *Ultimi terremoti INGV*, Una delle caratteristiche principali di GEOSIS web è quella di visualizzare in modo dinamico e quasi in tempo reale gli ultimi eventi registrati dalla Rete Sismica Nazionale in Italia e riportati sul sito web dell'INGV nella lista degli ultimi terremoti <http://cnt.rm.ingv.it>. In particolare vengono riportati gli eventi avvenuti sul territorio nazionale con magnitudo (ML) superiore o uguale a 2.0 e quelli rilevanti in altre zone del mondo. I valori delle coordinate ipocentrali e della magnitudo rappresentano la migliore stima con i dati a disposizione al momento della pubblicazione. La visualizzazione dei terremoti in tempo reale è resa possibile grazie all'utilizzo dei GEORSS, uno standard emergente per la rappresentazione dell'informazione geografica mediante un flusso feed web. I GEORSS dei terremoti utilizzati all'interno di GEOSIS web sono 2: il primo rappresentato da una stella di colore rosso, visualizza gli ultimi 20 eventi di magnitudo maggiore uguale a 2.0; il secondo, indicato da una stella di colore arancione, visualizza gli eventi degli ultimi 90 giorni di magnitudo maggiore uguale a 2.0. I GEORSS sono aggiornati in tempo reale con un collegamento al server <http://openmap.rm.ingv.it> e pubblicati utilizzando le PIPES di YAHOO.

Conclusioni

L'esperienza fatta dal LabGIS della Sede Irpinia negli ultimi due nell'utilizzo della tecnologia di ArcGIS Server, testando le potenzialità del Flex viewer per ArcGIS, ci ha consentito di trasformare gli Earthquake Report in un vera e propria applicazione GIS racchiusa in una interfaccia web.

GEOSIS web offre la possibilità di sfruttare a pieno le funzionalità di un webgis come la sovrapposizione dei layers, l'interrogazione dei relativi attributi, la possibilità di accedere ai terremoti in tempo reale, di rappresentare le informazioni a diverse scale e così via.

GEOSIS web potrebbe essere considerato una vera e propria applicazione da utilizzare in Sala Operativa a supporto del personale che svolge le funzioni per il monitoraggio sismico del territorio nazionale. Allo stesso modo può essere di grande aiuto ai ricercatori che studiano le sequenze sismiche per creare degli scenari sovrapponendo geograficamente più informazioni contemporaneamente.

Per il momento GEOSIS web è ospitato su un server del LabGIS ed è funzionante all'interno della Sala di monitoraggio sismico della Sede Irpinia dell'INGV.

GEOSIS web è stato utilizzato recentemente durante la manifestazione "Open Day 11 maggio" presso la sede di Roma dell'INGV, organizzata per far fronte all'emergenza informativa della falsa previsione del terremoto a Roma dell'11 maggio, per illustrare ai partecipanti con degli scenari interattivi le caratteristiche di pericolosità sismica e di sismicità della città di Roma e del territorio nazionale. Attraverso la gestione di queste semplici proprietà di visualizzazione per l'utente è possibile creare dei veri e propri scenari sovrapponendo i diversi dati presenti all'interno di *GEOSIS web* (Figura 7).

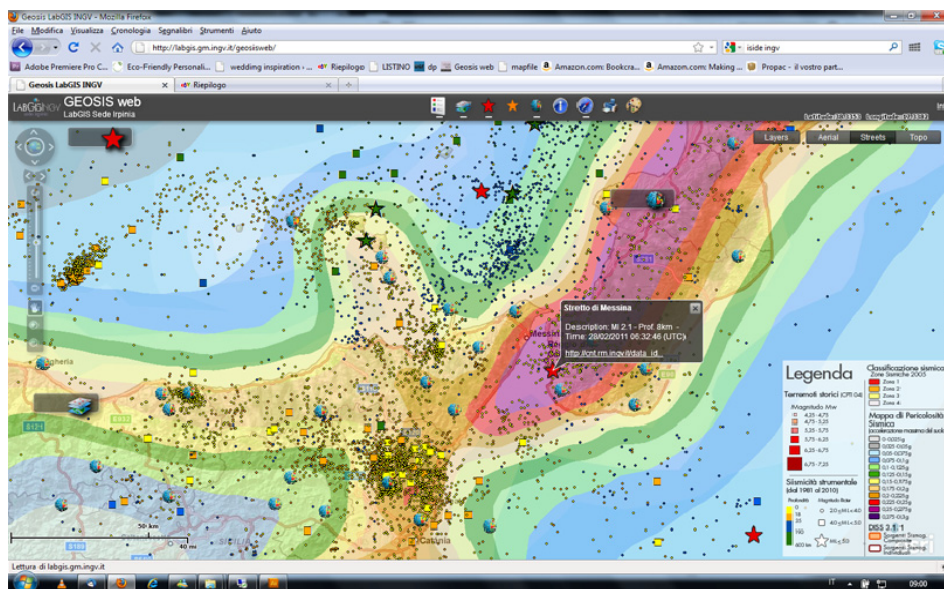


Figura 7 – Esempio di scenario ricreato dall'utente.

Bibliografia

- ESRI (2006). What is ArcGIS 9.2. ESRI Press, Redlands, 126 pp.
- Zeiler M. (1999) – Modeling our World – The ESRI Guide to Geodatabase Design. by Enviromental Systems Research Insitute, Redlands, California

- Pignone M., (2006). The Geographical Information System of CESIS Project, in Proc. of the 5th European Congress on Regional Geoscientific Cartography and Information Systems, Vol. II, pp 228-230.
- Pignone M., Moschillo R. (2007), Il LABGIS@INGV di Grottaminarda, attività e prospettive. Atti XI Conferenza ASITA, Torino
- Pignone M., Moschillo R., Selvaggi G., Moro M. & Castello B. (2007). Realizzazione del Geodatabase del catalogo della sismicità italiana 1981-2002 (CSI 1.0), Rend. Soc. Geol. It., Vol. 4. Nuova serie, pp 111-115.
- ESRI (2008). What is ArcGIS 9.3. ESRI Press, Redlands, 134 pp.
- Pignone M. & Moschillo R. (2009), Geodatabase e report di sismicità, Rendiconti Online Soc. Geol. It., Vol. 2.
- Amato A. Doumaz F., Lauciani V., Marcocci C., Moschillo R., Pignone M., Vinci S. (2009). "Distributing real-time earthquake information in Italy through dynamic web pages at INGV", ATTI 6° European Congress on Regional Geoscientific Cartography and Information Systems, Munchen 2009.
- Pignone M., Moschillo R., (2009) Un sistema informativo territoriale di supporto all'emergenza dell'Aquilano, atti 28° Convegno del Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida, Trieste.
- Patera A., Sbarra M. (2009). Trasferimento di dati tabellari dal database MySQL Euro-Mediterranean Paleotsunami a un Geodatabase di ARCGIS utilizzando lo standard XML, Rapporti Tecnici INGV numero 91, 2009.

Siti web, cataloghi e banche dati

- USGS Earthquake summary posters - <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/poster>
- ArcGIS Server - <http://resources.ArcGIS.com/>
- ArcGIS Viewer for Flex - <http://help.ArcGIS.com/en/webapps/flexviewer/>
- ArcGIS.com, <http://www.arcgis.com/home/>
- CPTI04 - Gruppo di lavoro CPTI (2004). Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04), INGV, Bologna. <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI04>
- ISIDe Working Group (INGV, 2010), Italian Seismological Instrumental and parametric database, <http://iside.rm.ingv.it>.
- Bollettino Sismico Italiano, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia <http://bollettinosismico.rm.ingv.it>.
- CS.I 1.1 Working Group (2006), "Catalogo strumentale dei terremoti italiani dal 1981 al 2002" <http://csi.rm.ingv.it>.
- Gruppo di Lavoro MPS (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici, <http://zonesismiche.mi.ingv.it>.
- DISS Working Group (2010). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.1.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss>. INGV 2010 - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - All rights reserved.
- Geoserver - Portale Kharita dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia , <http://kharita.rm.ingv.it/>.
- ArcGIS 9, ESRI Data & Maps 9.3 media kit, 2008 ESRI
- Open Geospatial Consortium - OpenGIS® Standards, <http://www.opengeospatial.org/standards/is>

Rilievo di una struttura sanitaria: l'ospedale San Bartolomeo a Sarzana

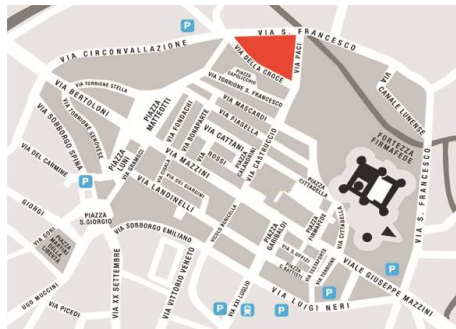
Giancarlo Pinto

Ricercatore Confermato presso l'Università degli Studi di Genova
Facoltà di Architettura Dipartimento POLIS, Stradone S. Agostino 37, Genova

L'area di studio è posta nel Centro Storico di Sarzana nella parte più a nord, in una zona residenziale edificata a partire dalla seconda metà del 1800. Nell'area sorge il complesso del vecchio Ospedale di San Bartolomeo che è collocato in un punto strategico della città: da un lato si pone sulla via che circonda la zona del centro e di fronte si affaccia sull'asse principale della città. Pur non essendo all'interno delle mura della vecchia città di Sarzana, la sua posizione è centrale. L'Ospedale di San Bartolomeo era un centro importante per i pellegrini verso Roma e verso Santiago di Compostela perché si trovava sul lato a valle della Via Francigena, fuori della porta di Imoborgo a Sarzana. È nominato per la prima volta in due documenti del 1129, oggi scomparsi. L'immobile oggetto dell'intervento è ubicato a Sarzana in Via Paci n°1 e attualmente è occupato da attività rientranti nell'ambito dell'assistenza sanitaria territoriale.

La prima sede dell'ospedale di Sarzana si trovava dentro le mura cittadine; successivamente si decise di edificare fuori dal centro urbano una nuova struttura, perché la vecchia era ormai inadeguata per un borgo così importante. Il nuovo ospedale fu realizzato nel 1858 dietro progetto dell'architetto genovese Vittorio Pittaluga. Nel 1888 sono terminati i lavori di sistemazione dell'area verde e della monumentale recinzione su Via Paci. Sempre in quegli anni fu ampliata la parte che si affaccia su Via Paci e che chiude il porticato al piano terra e vengono realizzati due lunghi terrazzi a sbalzo sulla facciata principale. Nei primi anni del '900 viene realizzato un primo edificio su due piani prospiciente Via Croce e dopo negli anni '40 una costruzione di un piano su Via Circonvallazione. Durante il periodo bellico viene smantellata la maestosa cancellata di Via Paci e negli anni '60 un edificio di tre piani è unito all'edificio storico snaturandone la distribuzione interna. L'ASL 5 (Azienda Sanitaria Locale N° 5 di La Spezia) aveva la necessità di avere un rilievo preciso e obiettivo della struttura attuale dell'ospedale e per questo si è rivolta alla Facoltà di Architettura di Genova stipulando con essa una Convenzione di Ricerca.

Il progetto intende ampliare il servizio della struttura, inserendo una sopraelevazione per realizzare nuovi reparti, internamente ai due bracci a doppia altezza. L'ASL 5 necessitava inoltre di una ristrutturazione dell'intero edificio, ma la situazione attuale non consente l'abbattimento del complesso monumentale, e quindi l'unica soluzione è il mantenimento dell'intera struttura.

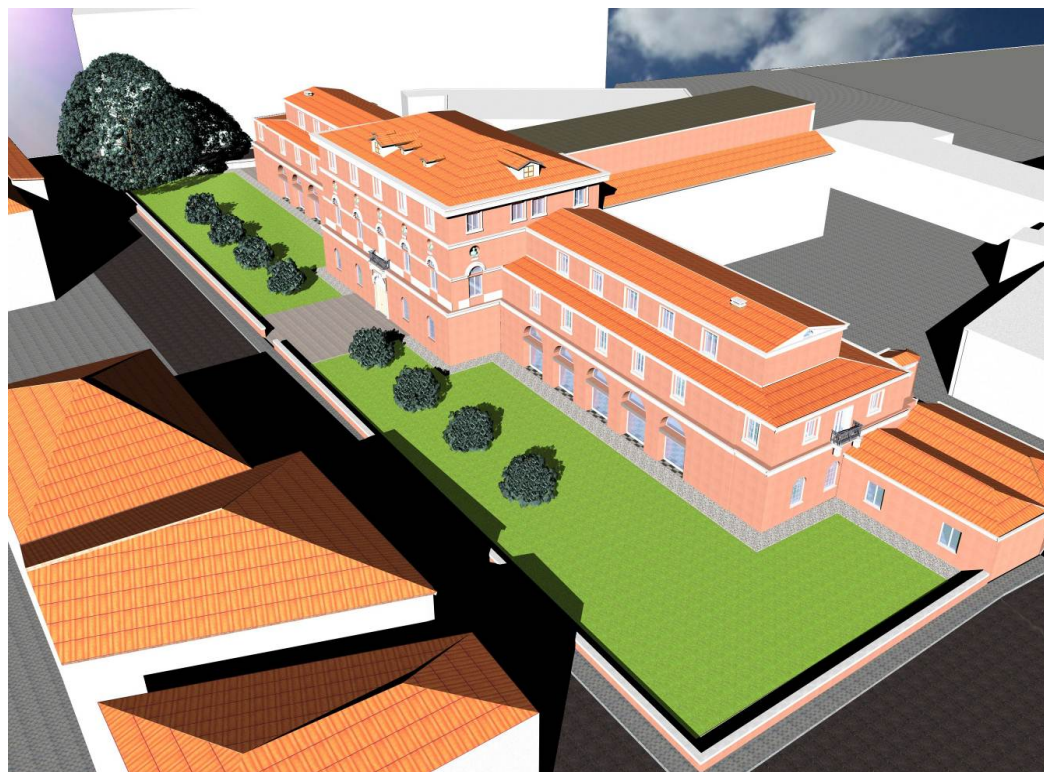


L'edificio è piuttosto articolato ed è composto di un corpo centrale di tre piani con i primi due piani a doppia altezza dal quale si dipartono due bracci laterali della stessa epoca.

I due bracci sono simmetrici e ciascuno è composto di tre piani di cui i primi due a doppia altezza. Originariamente questi corpi avevano un porticato aperto al piano terra che in seguito è stato tamponato. Al secondo piano non vi erano le classiche finestre ma degli oblò che scandivano la facciata. Oggi questi ultimi sono stati sostituiti da porte finestre con un poggiatesta che corre lungo tutta la facciata. Al terzo piano, leggermente più stretto rispetto ai primi due, le finestre affacciavano sulla copertura del piano sottostante.



Agli estremi dei due bracci, posizionate sulla facciata opposta alla principale, vi sono ancora oggi due torrette circolari aggettanti rispetto al filo di facciata.



Nella parte di destra rispetto alla facciata vi è un corpo ad un piano di epoca posteriore rispetto al complesso originario.

In epoca recente è stato aggiunto un braccio di tre piani con il piano terzo più stretto dei primi due e posto perpendicolarmente all'edificio centrale, che prendeva forse spunto da un precedente corpo esistente, di cui non è stato richiesto il rilievo.

La copertura del corpo centrale è a falde e quella delle due ali è a capanna con rivestimento in coppi e interventi di ripristino in marsigliesi.



Lo stato di conservazione esterno, specialmente delle facciate, lascia molto a desiderare sia come intonaco sia come tinteggiatura. Infatti, nelle estremità dei due corpi laterali si notano dei distacchi e sono evidenti delle parti ammalorate. Il corpo centrale nella facciata principale è bene conservato e al piano terra ha un bel portale di marmo con la parte alta a tutto sesto. Sopra al portale vi è un poggiolo con ringhiera di ferro battuto e con mensole di marmo e sopra la fila delle finestre del primo piano ci sono delle nicchie che contengono dei busti marmorei.

Internamente la situazione è migliore: non si notano fessurazioni e la tinteggiatura è in ordine sia sulle pareti sia sulle coperture a volta con unghie alle finestre.

Attorno all'edificio vi è uno spazio di pertinenza recintato da un muretto sormontato da una cancellata che sulla facciata è tenuto a verde con alberi e siepi, mentre all'interno degli edifici è un parcheggio per gli addetti ai lavori.

La Convenzione comprende, oltre al rilievo topografico e fotogrammetrico, anche una campagna fotografica dei prospetti esterni e lo stato attuale degli interni per documentare gli spazi, le strutture e le opere architettoniche come lo scalone, le volte e le decorazioni originarie della facciata che il degrado ha in parte cancellato.

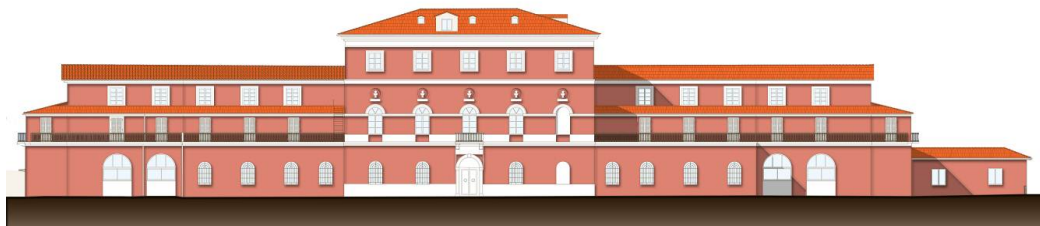
Dal rilievo si vuole ottenere un confronto con la cartografia esistente e con le mappe catastali per verificare l'esattezza delle superfici e il posizionamento angolare dell'intero edificio.

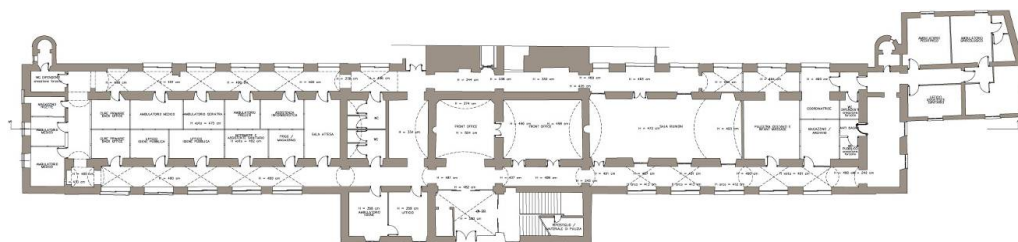
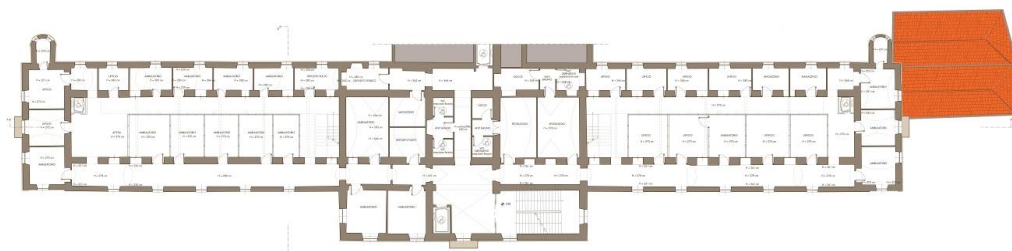
All'interno del complesso, al piano terreno dell'ala di destra, è presente una bella cappella affrescata che oggi non è più in uso. Le decorazioni al suo interno sono ancora in buono stato di conservazione sia alle pareti e sia sul soffitto; la copertura è a botte affrescata e con lunette in corrispondenza delle bucaie. Lo spazio interno è diviso in due parti: il vano chiesa e una zona

dietro all'altare ad uso del clero officiante. All'esterno, sul corridoio, due porte di legno introducono alla chiesa e sono decorate con portali in pietra sormontati da frontoni triangolari.



Tutto il lavoro di rilievo sarà messo a disposizione dei progettisti che faranno le loro valutazioni e proporranno all'ASL5 le soluzioni di ristrutturazione e restauro più opportuno.





Per il progetto di rilievo sono state create due poligonali aperte di base e dai punti sensibili si sono battuti i punti per la restituzione dei prospetti. Il programma utilizzato è stato Photomodeler che ci ha permesso, tramite più foto scattate da punti diversi e il rilievo dei punti topografici, di restituire i vari prospetti.

Per la parte interna abbiamo lanciato delle stazioni attraverso i poggioli internamente al fabbricato, una per ogni piano e da queste siamo partiti con un rilievo topografico e longimetrico.

L'accesso alla struttura è stato garantito dal personale di servizio che ci ha accompagnato permettendoci di perlustrare tutto l'edificio e accedere in ogni sua parte. Finte le operazioni di rilievo, abbiamo iniziato la restituzione dei dati raccolti e la realizzazione dei disegni.

Un laureando ci ha chiesto la possibilità di sviluppare delle idee sul complesso per portare a compimento la sua tesi.

Partendo dalle piante ha realizzato dei rendering e ha ipotizzato la sopraelevazione delle ali, realizzando una soletta e i collegamenti verticali.



L'importanza dei SIT nella tutela del patrimonio ambientale e culturale da rischio idraulico

Francesca Pirlone¹, Ilenia Spadaro²

Facoltà di Ingegneria - Università di Genova, Via all'Opera Pia 15a Genova
Tel. 010-353.2826, Fax. 010-353.2971, e-mail. francesca.pirlone@unige.it, e-mail. ilenia.spadaro@unige.it

Abstract

I Sistemi di Informazione Territoriale rappresentano un utile strumento di tutela e protezione del patrimonio ambientale e culturale. I SIT, consentono infatti di mettere in relazione le informazioni tecnico-scientifiche e quelle di localizzazione, necessarie per predisporre scenari di rischio idraulico. A livello comunitario la recente Direttiva Alluvioni obbliga gli Stati Membri alla realizzazione di strumenti dedicati al rischio idraulico (Piano di rischio alluvioni). Diversa la situazione della tutela del patrimonio culturale e ambientale che non viene normata a livello europeo ma attraverso specifiche normative nei singoli Paesi. Da segnalare infine la mancanza di uno strumento che consideri globalmente la messa in sicurezza del patrimonio storico da rischio idraulico. Nel presente paper viene illustrato un approccio metodologico volto alla creazione di un database associabile agli strumenti GIS, che, per la definizione del rischio idraulico, utilizza indicatori e come esposto considera il patrimonio ambientale e culturale.

"Informative Systems" are a useful tool for conservation and protection of environmental and cultural heritage. The SIT, in fact, allow to relate the scientific and technical information and the localization, necessary to prepare scenarios of flood risks. At Community level the recently Floods Directive binds Member States to achieve dedicated tools to flood risks (flood risk plan). On the other hand the cultural and environmental heritage protection is regulated by legislation specific of each country and not through an European directive. Finally worth noting the lack of a tool that considers the put in safety of the historical heritage from flood risks as a whole. In this paper is described a methodological approach (leading to the creation a database associated with GIS tools) aimed at evaluating the flood risk of the environmental and cultural heritage, through the use of indicators.

Per poter disporre di un quadro conoscitivo volto alla tutela e protezione del patrimonio ambientale e culturale, è necessario predisporre Sistemi di Informazione Territoriale, SIT, al fine di correlare i numerosi dati tecnico-scientifici, che entrano in gioco nelle valutazioni relative al rischio idraulico, con quelli geografico-localizzativi. I GIS, al fine di messa in sicurezza di tale patrimonio da eventi naturali, possono costituire uno strumento molto importante, sia per la fase di prevenzione che per quella di emergenza.

Grazie alle tecnologie attuali, le informazioni specifiche di ogni bene possono essere implementate in appositi database associati a programmi di georeferenziazione territoriale. Questi consentono,

¹ L'autrice ha analizzato il contesto europeo ed italiano in merito a normative e strumenti dedicati al rischio naturale e al patrimonio storico-culturale (direttive esistenti e recepimento in Italia; strumenti urbanistici ed operativi, quali Carta del rischio), proponendo spunti di riflessione. A partire dalla metodologia sviluppata di concerto, è stata approfondita la fase conoscitiva per la relativa applicazione ai casi studio trattati.

² L'autrice ha approfondito lo stato dell'arte dello strumento GIS evidenziando le potenzialità anche rapportate alle tematiche dei rischi naturali e del patrimonio storico-culturale ed ambientale, mettendo in luce nuove opportunità. L'approccio metodologico è stato sviluppato di concerto; nell'ambito dell'applicazione è stato curato in particolare l'elaborazione del database e la successiva implementazione in ambiente GIS.

come noto, l'archiviazione di informazioni sullo status quo e la predisposizione di scenari di danno per eventi calamitosi e conseguenti restituzioni cartografiche.

L'esperienza nel campo dei Geographic Information System permette di ottenere risultati significativi, anche se, in oggi, risulta ancora necessario definire: l'uso delle cartografie disponibili, le linee guida per la georeferenziazione dei beni ambientali e culturali, i criteri di validazione e monitoraggio, nuovi approcci alla georeferenziazione e rilevamento del patrimonio esistente anche attraverso la misura on-site delle coordinate³.

Particolare attenzione dovrebbe essere posta inoltre sulla omogeneità delle informazioni da reperire, almeno a livello nazionale, per poterle rendere confrontabili e quindi utilizzabili in maniera proficua a tutti i livelli istituzionali.

Un aspetto ulteriore da dover approfondire è l'aggiornamento dati, caratteristico dei GIS, indispensabile per valutare la dinamicità dei processi in atto. La variabilità dell'evento atteso, infatti, sottolinea l'esigenza di poter usufruire di uno strumento che contenga e gestisca gli approcci metodologici predisposti, garantendo, al contempo, l'aggiornamento delle informazioni in tempo reale.

Infine, oltre all'implementabilità e all'aggiornabilità, un ulteriore punto di forza dei SIT per la tematica trattata, consiste nell'overlay mapping, la possibilità cioè di sovrapporre sulla stessa immagine cartografica, diverse informazioni ottenendo una lettura incrociata dei fenomeni.

L'attuale e crescente divulgazione dei SIT nell'ambito della Amministrazione Pubblica, mette in luce le potenzialità e l'efficacia di questi sistemi nella gestione di banche dati territoriali, per visualizzare, attraverso la produzione di rappresentazioni cartografiche tematiche, i fenomeni analizzati e conoscerli nella dimensione territoriale-temporale più idonea. In merito a quest'ultimo aspetto non si deve infatti dimenticare che l'intensità del rischio varia nel tempo e deve essere rapportata allo stato di conservazione di ogni singolo bene oltre alle caratteristiche territoriali ed ambientali in cui lo stesso bene è collocato.

A livello europeo non esiste un approccio uniforme per quanto riguarda gli strumenti da utilizzare in risposta agli eventi calamitosi naturali e, la tematica della protezione dei beni culturali, è spesso considerata alla stregua di una questione ambientale. Per quest'ultimo aspetto i singoli Stati Membri presentano esperienze differenti sia in termini di strumenti che di strutture dedicati alla conservazione, riqualificazione e protezione del patrimonio culturale. In tale ambito l'Italia vanta indubbiamente una consistente struttura istituzionale per la tutela dei beni culturali. Tuttavia, in oggi, non esistono leggi specifiche relative alla salvaguardia dei beni storico-culturali nei confronti dei rischi naturali; esistono normative per tali beni o altre che considerano gli eventi naturali in senso lato.

Viste le emergenze verificatesi nel passato in Europa, soprattutto in termini di rischi idraulici, la Comunità Europea ha emanato due importanti provvedimenti, la Direttiva 2000/60/CE⁴, che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque, e la Direttiva 2007/60/CE⁵, relativa alla valutazione e gestione del rischio di alluvione.

³ Ciò è possibile attraverso reti di rilievo sia in "modalità real-time che in post-processamento cinematica", usando i servizi di posizionamento GPS esistenti a scala regionale.

⁴ Tra gli obiettivi si ricordano:

- non deterioramento dello stato di tutti i corpi idrici superficiali e sotterranei e protezione, miglioramento e ripristino dei medesimi;
- raggiungimento dello stato "buono" entro il 2015, che consiste per le acque superficiali in "buono stato ecologico e chimico" e per le sotterranee "buono stato chimico e quantitativo";
- progressiva riduzione dell'inquinamento da sostanze pericolose e arresto/graduale eliminazione di emissioni, scarichi e perdite di sostanze pericolose;
- raggiungimento degli standard ed obiettivi fissati per le aree protette dalla Normativa Comunitaria.

Lo strumento introdotto è il Piano di gestione delle acque. La predisposizione di tali piani ha avuto un iter accelerato al fine di rispettare le scadenze comunitarie (22 dicembre 2009, termine prorogato al 22 febbraio 2010). Le Autorità di bacino di rilievo nazionale hanno adottato i Piani e fatto da capofila con compiti di coordinamento.

⁵ Le principali finalità sono:

La prima Direttiva istituisce un quadro per la protezione delle acque superficiali interne, delle acque di transizione, di quelle costiere e sotterranee e stabilisce che il territorio venga gestito in termini di distretti idrografici con relativi “Piani di gestione”. La seconda introduce una specifica disciplina in materia alla gestione del rischio di alluvione, prevedendo tre momenti: valutazione preliminare del rischio potenziale (entro il 22-12-2011), mappe della pericolosità e del rischio da alluvione (entro il 22-12-2013), Piani di gestione del rischio alluvione (entro il 22-12-2015).

Pertanto la Direttiva Alluvioni obbliga gli Stati Membri alla predisposizione di piani dedicati al rischio idraulico per poter disporre di strumenti urbanistici simili nei diversi Paesi in un’ottica europea, che vada a considerare la perimetrazione fenomenologica dell’evento considerato e non quella puramente amministrativa.

Diversa è invece la situazione della tutela del patrimonio culturale e ambientale che non viene normata a livello di Direttiva europea ma attraverso specifici Codici o normative differenti nei singoli Paesi. Inoltre sempre a livello comunitario, non esiste uno strumento che consideri contemporaneamente la messa in sicurezza del patrimonio storico da rischio idraulico, e quindi entrambi gli aspetti prima citati (valutazione del rischio e tutela del patrimonio culturale-ambientale).

Una ipotesi potrebbe essere quella che la Direttiva alluvioni preveda, all’interno delle mappe di rischio⁶, un inventario dei beni culturali, incluso il paesaggio archeologico e culturale. In tale senso, i beni, potrebbero essere considerati assieme alla pianificazione territoriale, alla gestione del territorio e alla conservazione dell’ambiente.

Presupposti tutti basilari per la predisposizione di una “Carta del Rischio Europea per il patrimonio culturale-ambientale”, Sistema Informativo Territoriale unico e omogeneo per l’intero territorio, che potrebbe rappresentare una prima tappa per avviare una corretta azione di gestione, recupero e salvaguardia per l’intero patrimonio storico-culturale.

A livello italiano sono state recepite entrambe le direttive Acque e Alluvioni, attraverso il D.Lgs n.152 del 2006 (Codice dell’Ambiente) e il D.Lgs n. 49 del 2010, ed in oggi diversi sono i relativi piani realizzati che considerano il rischio idraulico: dalla mappatura delle zone esposte agli interventi da porre in essere per la messa in sicurezza.

In merito alla salvaguardia dei beni, è vigente il Codice dei beni culturali e del paesaggio (D.Lgs n.42 del 2004); esso introduce la definizione di una specifica schedatura a livello nazionale del patrimonio pubblico con più di cinquant’anni, prevedendone inoltre la georeferenziazione in sinergia con gli obiettivi della Carta del Rischio presente in Italia. Quest’ultima, redatta a partire da singole esperienze e da eventi calamitosi verificatesi in Italia (in particolare sismici), consente di definire l’intensità del rischio di perdita cui è soggetto ogni bene (monumentale e storico-artistico) e di conoscerne la localizzazione mediante mappature tematiche aggiornabili. Infatti, la Carta del Rischio del Patrimonio Culturale, oltre all’aspetto conoscitivo, analizza tre diverse categorie di rischio: statico, ambientale-aria e quello determinato da fattori antropici. Nel merito tale Carta sarebbe bene che contenesse specifici scenari supportati dallo strumento GIS al fine di fornire corrette simulazioni per i rischi naturali.

-
- istituzione di “un quadro per la valutazione e la gestione dei rischi di alluvioni, volto a ridurre le conseguenze negative per la salute umana, l’ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche connesse con le alluvioni”;
 - introduzione di una specifica disciplina in materia di gestione del rischio di alluvione in considerazione del fatto che la direttiva quadro in materia di acqua (2006/60/CE) non ha incluso tra gli obiettivi principali il rischio di alluvione.

Lo strumento previsto è il Piano di gestione del rischio di alluvione che si inserisce nel Piano di gestione del distretto idrografico introdotto dalla precedente Direttiva quadro sulle acque del 2000.

⁶ La direttiva INSPIRE “Infrastrutture per l’informazione territoriale nella Comunità” (2006) prevede che gli SM migliorino le gestione dei servizi di mappatura territoriali secondo principi comuni. Tra le mappe da realizzarsi c’è quella riguardante i siti protetti e i rischi potenziali, nell’ambito del quale sarebbe opportuno considerare anche il patrimonio storico-culturale.

E' in tale contesto che ben si inserisce l'approccio metodologico sviluppato relativo alla protezione/salvaguardia e messa in sicurezza dei beni culturali ed ambientali nei confronti degli eventi calamitosi di origine naturale. Trattasi di metodologia volta ad una tutela "attiva" che considera non solo il singolo bene ma anche tessuti urbani a pregio storico-culturale-paesaggistico, quali i centri storici.

Due sono essenzialmente le tipologie di informazioni necessarie per procedere nelle analisi di dettaglio e quindi alla conoscenza delle caratterizzazioni proprie di ogni bene: situazione dell'attuale assetto urbano ed edilizio nelle sue differenti ripartizioni (modalità d'uso, stato di consistenza, livello di efficienza, stato e cause di degrado, interventi di ripristino in atto o previsti,...); informazioni relative alle emergenze storico-culturali ed architettoniche e le conseguenti condizioni e modalità di tutela cui esse sono sottoposte dalla vigente normativa. In particolare, riguardo a quest'ultimo aspetto, si è inteso suggerire modalità informative e rappresentative, per consentire successive elaborazioni volte a supportare azioni programmatiche di tutela e salvaguardia. La rappresentazione di dette elaborazioni attraverso i SIT permette inoltre di poter valutare ed analizzare differenti possibili scenari.

L'approccio metodologico parte dalla nota definizione di rischio (inteso come danno temuto) funzione di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione. Analizzando in particolare il rischio idraulico, per ognuna delle grandezze prima citate, sono stati individuati parametri ed indicatori caratterizzanti. Tali indicatori, associati a pesi individuati con metodi probabilistici, consentono di giungere ad una valutazione del rischio a diverse scale di riferimento: dal livello territoriale a quello puntuale del singolo edificio.

L'approccio così definito per la valutazione del rischio risulta importante per stabilire le priorità di intervento. Tale metodo permette di valutare sia le grandezze singolarmente che complessivamente in termini di rischio totale. Le elaborazioni, associate alle potenzialità dello strumento GIS, potranno costituire un DDS utile per le Amministrazioni e le Strutture di protezione civile per l'individuazione degli interventi da realizzarsi in ambito urbano sia nella fase pianificatoria che di emergenza, per la messa in sicurezza nei confronti del rischio idraulico. In particolare le analisi e i risultati forniti dalla fase di valutazione forniranno indicazioni utili per: la scelta a livello territoriale del manufatto che necessita prioritariamente della messa in sicurezza e, una volta individuato il cespite, di priorità di tipologia di intervento da effettuarsi sullo stesso (attraverso la valutazione dei pesi associati ai singoli indicatori che caratterizzano le grandezze introdotte per definire il rischio).

Nel seguito, a titolo esemplificativo, si riportano alcune elaborazioni effettuate nel territorio genovese. A riguardo sono state prese in considerazione due aree urbane differenti sia per la tipologie di rischio idraulico a cui sono potenzialmente soggette che per gli aspetti costruttivi e territoriali rappresentativi. Si tratta del centro storico⁷, di notevole valore storico-culturale, soggetto a rischio allagamento legato all'inefficienza del sistema fognario e della Val Bisagno⁸, area fortemente urbanizzata esposta invece a rischio inondazione causato dall'omonimo torrente. Sono state scelte queste due realtà per poter disporre di un maggior numero di casistiche possibili al fine di generalizzare l'approccio volto a definire indicatori utili nella valutazione del rischio idraulico che, come noto, può presentarsi secondo tipologie differenti (allagamento, ruscellamento, inondazione).

⁷ Il centro storico di Genova è stato recentemente riconosciuto Patrimonio dell'Unesco, per le sue tipiche caratteristiche di notevole pregio storico-architettonico e l'ampia estensione superficiale. L'area non è attraversata da corsi d'acqua di rilevante entità ma da rivi minori tombinati (con canalizzazioni realizzate in tempi diversi e modalità eterogenee) inglobati nel sistema di drenaggio urbano; le insufficienze di tale sistema causano il rischio di allagamento.

⁸ L'area in esame può essere suddivisa in alta e bassa Val Bisagno. L'analisi si è soffermata in particolare sulla parte bassa della valle, comprendente i quartieri di Marassi, San Fruttuoso e Staglieno, caratterizzata dall'essere fortemente urbanizzata e pesantemente cementificata soprattutto durante l'espansione edilizia avvenuta tra gli anni '50 e '70 del secolo scorso. Numerosi sono i ponti e i cavalcavia (anche autostradali) e le parti coperte che sovrastano il Bisagno. Da segnalare è la copertura del tratto terminale avvenuto negli anni '30, causa delle principali criticità di rischio esondazione a cui sono associati effetti di rigurgito a monte.



Figura 1 – Localizzazione casi studio.



Figura 2 – Centro storico.



Figura 3 – Val Bisagno.

Entrando nel merito dell'applicazione due sono state le fasi che l'approccio metodologico ha considerato: una prima di tipo conoscitivo a livello territoriale e la seconda di valutazione-definizione del livello di rischio dei singoli manufatti, individuati come significativi per valore storico-culturale ed esposizione nei confronti dei fenomeni idraulici.

Gli aspetti che sono stati esaminati nella fase conoscitiva sono quelli relativi alle caratteristiche dell'insediamento (dati sulla popolazione, storici legati agli eventi alluvionali passati, mappe o notizie,...) e del reticolo idrografico con le relative criticità condizionanti la vulnerabilità a fenomeni di alluvionamento. Nel merito si riportano in Fig.4 un estratto compilato per l'area studio Val Bisagno e, in Fig.5, estratti delle due realtà campione prese in oggetto dai quali emergono i diversi indicatori caratteristici di ciascuna situazione. Tali database costituiscono la base informativa di partenza di SIT associabili a programmi GIS capaci di rendere più operativa l'interrogazione delle informazioni e di mappare possibili scenari.

15	Localizzazione stazioni pluviometriche esistenti (da Carta dei sottobacini)	Davagna, Vignanego, Prato, GE-Idrografico, Ponte Carrega			
16	Evento alluvionale più significativo	Intensità di pioggia	Quota	Portata di piena (foce)	Danni
17	07-08/10/1970	500 mm/24h sulla costa e 948mm/24h nell'interno	circa 1 metro	950 m³/s	sì
18	Mappe o notizie				
19	Inserimento territoriale area insediativa	Cliccare per visualizzare la carta dell'Inserimento territoriale area insediativa			
20	Tipologie aggregative prevalenti	Aggregazione semplice di elementi omogenei preordinati			
21	Destinazioni d'uso prevalenti piani terra	Aggregazione semplice di elementi omogenei preordinati			
22	Destinazioni d'uso prevalenti	Aggregazione semplice di elementi lineari più o meno omogenei.			
23	Edifici vincolati	Aggregazione di elementi lineari continui disomogenei			
24	Sistemi strutturali prevalenti	Aggregazione complessa di elementi omogenei continui.			
25		Aggregazione complessa di elementi disomogenei continui.			
26		Aggregazione complessa di elementi omogenei, o parzialmente omogenei, intorno a un fulcro (eme			
27		Aggregazione lineare di elementi omogenei, o parzialmente omogenei, in base a scanconi preordn			
28		prevalentemente in calcestruzzo armato			
29		Tipologia		Percentuale	
30	Pavimentazioni stradali prevalenti	Asfalto		100	
31	Condizioni di degrado	Umidità di risalita	Muffe	Distacco dell'intonaco	Lesioni superficiali
32	Cause di umidità prevalente	Poco diffuso	Poco	Poco diffuso	Poco diffuso
33		Risalita			

Figura 4 – Fase conoscitiva dell'area – Estratto database con collegamenti ipertestuali e menù a tendina appositamente predisposti per il caso studio Val Bisagno.

CARATTERISTICHE DELL'AU CONDIZIONANTI LA VULNERABILITA' A FENOMENI DI ALLUVIONAMENTO	
Caratteristiche principali del sistema fognario	Misto 
	Lineare 
Tratti stradali convoglianti le acque di ruscellamento in occasione di eventi meteorici intensi	Cliccare per visualizzare la carta dei tratti stradali convoglianti acque ruscellamento
Presenza manufatti in alveo	Cliccare per visualizzare la carta "manufatti in alveo"

a) Val Bisagno

CARATTERISTICHE DEL CS CONDIZIONANTI LA VULNERABILITA' A FENOMENI DI ALLUVIONAMENTO	
Caratteristiche principali del sistema fognario (mediterranea delle acque)	Misto 
	Articolato 
Tratti stradali convoglianti le acque di ruscellamento in occasione di eventi meteorici intensi	Via Luccoli, Via di Soziglia, Via degli Orefici, Via Banchi.
Settori della rete fognaria potenzialmente soggette a rigurgito in occasione di eventi meteorici intensi	1) Zona di immissione del Rio San Gerolamo nel Rio Carbonara; 2) Tratto di valle di via delle Fontane; 3) Sezione ristretta all'altezza di Piazza Soziglia; 4) Sezione ristretta lungo Via degli Orefici; 5) Restringimento tra Via Banchi e Piazza Banchi; 6) Presenza del sottopasso di Caricamento
Sezioni anche tombinate del reticolo idrografico minore soggette ad ostruzioni e rigurgiti	

b) Centro storico

Figura 5 – Confronto tra i due casi campione.

Nella seconda fase si è proceduto alla individuazione e determinazione quali-quantitativa degli indicatori, opportunamente “pesati” in base al caso specifico, per la definizione del livello di rischio idraulico. Ciò è stato sperimentato sull’area del centro storico di maggiore criticità (in relazione al numero degli eventi catastrofici avvenuti e alla densità dei beni culturali presenti), ossia l’asse Piazza Fontane Marose – Via Luccoli – Via Orefici – Piazza Banchi – Caricamento e in Bassa Val Bisagno.

Nel seguito si riportano estratti e considerazioni metodologiche relative all’applicazione nel centro storico di Genova.

In merito alla valutazione della grandezza vulnerabilità, gli indicatori scelti e opportunamente pesati hanno preso in considerazione le caratteristiche dell’edificio (presenza di parti di edificio localizzati al piano terra o semi-interrati/interrati sensibili agli agenti chimici, presenza dei piani interrati/semi-interrati,...), ponendo particolare attenzione all’analisi del piano terra più sensibile ai fenomeni idraulici. Viste le caratteristiche tipiche del centro storico genovese, i cui piano terra hanno destinazione d’uso eminentemente di tipo commerciale, tra gli indicatori si ricordano: varchi caratterizzati da resistenza alle azioni delle acque di alluvionamento, percentuale di parete vetrata, tipologia di rivestimento interno/esterno, presenza di umidità di risalita e di dispositivi per la mitigazione della vulnerabilità dell’edificio,...

A titolo esemplificativo, in Fig. 6, si riporta un estratto del foglio di calcolo relativo alla valutazione della vulnerabilità di un edificio di pregio presente nel tessuto storico genovese.

VULNERABILITA'		
CARATTERISTICHE EDIFICIO		V parziale
Presenza di parti di edificio localizzati al piano terra o semi-interrati/interrati sensibili agli agenti chimici (pareti)		
Sì		1
Presenza dei piani interrati/semi-interrati		
Sì		1
ANALISI DEL PIANO TERRA		V parziale
Varchi caratterizzati da resistenza alle azioni delle acque di alluvionamento		
Sì (Saracinesca, portoni massicci)		0
Protezione aperture per il piano interrato	No	0
Sopraelevazioni soglie d'accesso	Sì	-0,1
Sistemi di laminazione acque superficiali	No	0
Intercedini	No	0
VULNERABILITA' MOLTO ALTA		0,901

Figura 6 – Estratto relativo alla grandezza vulnerabilità.

Per quanto riguarda l'esposizione, per tenere in considerazione le diverse tipologie di bene, e quindi il differente valore intrinseco, sono state introdotte tre "categorie" da assegnare a ciascun edificio⁹. Per definire tale classificazione si è fatto riferimento al PUC "Piano Urbanistico Comunale" elaborato del Comune di Genova (Fig.7).

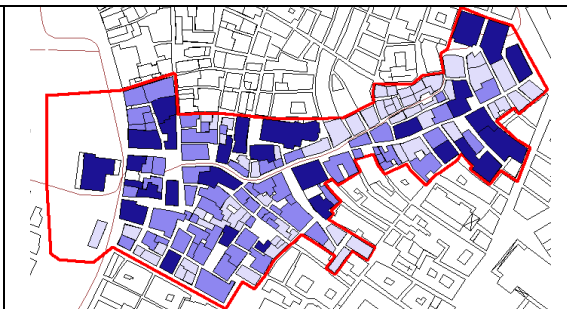
Categorie di esposizione		
Categoria 1	Altri edifici	
Categoria 2	Edifici vincolati per il loro valore architettonico e palazzi medioevali	
Categoria 3	Palazzi dei Rolli e chiese aventi grandi pregi architettonici e inestimabile patrimonio artistico	

Figura 7 – Definizione delle tre "Categorie" e relativa mappatura GIS.

Tali Categorie sono state associate a diversi pesi per valutare il livello di esposizione relativo al danno temuto storico-architettonico; inoltre si è preso in considerazione anche il possibile danno economico che l'evento potrebbe causare all'attività presente all'interno di tali cespiti (Fig.8).

⁹ Come si può notare non è stato assegnato il livello di esposto 0, considerando come assunto che qualsiasi manufatto appartenente a tale contesto costituisca un bene di valore.

51	ESPOSIZIONE: patrimonio storico-culturale		
52	Tipologia di bene		
53	Categoria III	1	
54	Categoria I	errato, interrato)	
55	Categoria II	1	
56	Beni immobili	Si	1
57			
58	ESPOSIZIONE P.S. MOLTO ALTA		1,000
59			E3
60			
62	ESPOSIZIONE: danno economico sul patrimonio storico-culturale		
63	Destinazioni d'uso - Piano terra		
64	Commerciale produttivo	0,9	
65	Interesse logistico/strategico (caserme, ospedali, municipi,...)		
66	Interesse socio-culturale (scuola, biblioteca, impianti sportivi,...)	0	
67	Commerciale produttivo		
68	Residenziale		
69	Magazzino/cantina/garage		
70	Ufficio		
71	ESPOSIZIONE D.E. ALTA		0,633
			E2

Figura 8 – Estratto relativo alla grandezza esposizione.

Dalla combinazione matematica delle tre grandezze (pericolosità, vulnerabilità ed esposizione) è stato possibile individuare, per i manufatti indagati, quattro diverse classi di rischio idraulico (Fig.9).

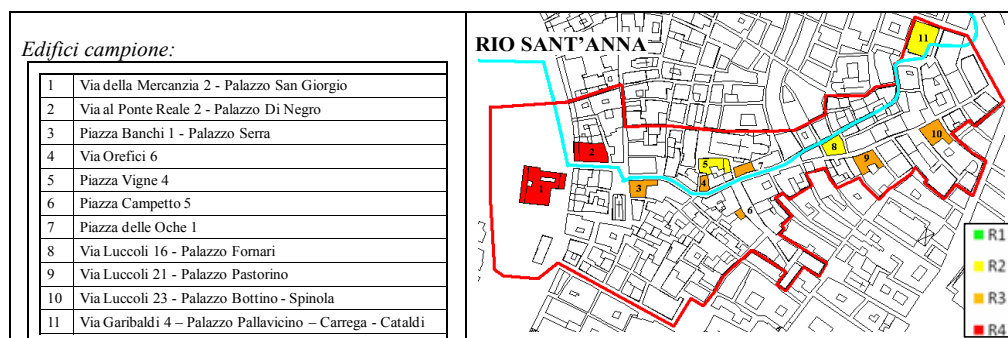


Figura 9 – Livelli di rischio idraulico (da R1 basso a R4 molto elevato) degli edifici campione.

Un possibile sviluppo, in fase di approntamento, della metodologia illustrata è quello di considerare la valutazione del rischio non solo per l'intero manufatto ma riferita alle singole parti che lo costituiscono, quali ad esempio prospetti, piani,... Quest'ultimi infatti possono essere caratterizzati da diverse tecnologie costruttive, stato di degrado e, evidentemente, in base alla loro posizione altimetrica rispetto al manufatto (piano interrato, primo, secondo,...), a rischio decrescente lungo l'altezza (aspetto tipico del rischio idraulico dove i piani più bassi sono maggiormente esposti).

Dalle risultanze ottenute, è emerso come gli edifici presenti nel centro storico sono spesso la risultante di successive sovrapposizioni avvenute in diverse epoche storiche, con svariate opere di rifusione, innalzamento, ... costituendo in oggi esempi complessi di più stratificazioni storico-culturali. Inoltre un altro aspetto evidenziato è il ruolo che la morfologia del territorio in cui è inserito il manufatto riveste nei confronti del rischio idraulico; l'acclività ha portato, infatti, ad avere edifici con prospetti a diverso livello di rischio. Un edificio potrà dunque presentare prospetti affacciati su zone pianeggianti (soggette a possibili allagamenti), altri su zone in pendenza (sottoposti a possibili eventi di ruscellamento e di materiali trasportati) e infine con facciate

collocate in zone ad una quota più elevata rispetto alle aree soggette ad allagamenti (a minor rischio).

Quanto esposto può rappresentare il punto di partenza per una diversa elaborazione grafica relativa ai rischi naturali. Quest'ultima dovrebbe analizzare, e quindi mappare, per le diverse parti dell'edificio, facciate e piani, l'effettivo stato di consistenza (epoca di costruzione, degrado, manutenzione, umidità, ecc.) e il livello di rischio, oltre che le singole grandezze che lo caratterizzano.

La disponibilità di nuova strumentazione di rilievo e la potenza dei Sistemi Informativi, in oggi presenti, associato alle considerazioni metodologiche sopra esposte, aprono la strada allo sviluppo di un nuovo metodo di rappresentazione grafica del rischio.

Riferimenti bibliografici

- Borruso G., Bertazzon S., Favretto A. Murgante B., Torre C. (2011) *Geographic Information Analysis for Sustainable Development and Economic Planning: New Technologies*, IGI Global, US
- Burrough P.A. (1986) *Principles of geographical information systems for land resource assessment*, Clarendon Press, Oxford, U.K
- Carrara A., Guzzetti F., Cardinali M., Reichenbach P., Antonini G., Galli M., Ardizzone F., Fossati D., Laffi R., Mazzoccola D., Sciesa E., Crosta G., Frattini P. (2000) *Geographic information technology to assess landslide hazard in regional environmental planning*, Monaco, Germania
- Cumbo F., Pirlone F., Spadaro I., Ugolini P. "Gis applicable software modules for risk assessment (innovation)", *Deliverable D1.6*, VI Programma Quadro Progetto CHEF "Cultural Heritage Protection against Flood"
- Densham P.J. (1991) "Spatial decision support systems", in Maguire D.J., Goodchild, M.F. and Rhind D.W., *Geographical Information Systems: principles and applications* Wiley, New York, 403-412
- Malczewsk J. (1991) *GIS and Multicriteria Decision Analysis*, USA
- Menoni S. (1997) *Pianificazione e incertezza. Elementi per la valutazione e la gestione dei rischi territoriali*, Franco Angeli, Milano
- Menoni S. (2006) "Introducing a transdisciplinary approach in studies regarding risk assessment and management in education programs for environmental engineers and planners", *International Journal of Sustainability in Higher Education*, vol. 7:3
- Orlando M. (2008), *Il ruolo dei sistemi informativi territoriali nel processo di recupero dei centri storici*, Franco Angeli Editore, Milano
- Pirlone F., Spadaro I., (in corso di stampa) "DSS finalizzato alla governance del territorio: messa in sicurezza e salvaguardia del patrimonio storico-culturale", in Atti del Convegno INPUT '10 Conferenza Nazionale in Informatica e Pianificazione Urbana e Territoriale – Potenza
- Pirlone F., Spadaro I., Ugolini P. (2010), "La gestione dei rischi naturali in un'ottica sostenibile del territorio", in Ugolini P., *Approccio alla sostenibilità nella governance del territorio*, Franco Angeli Editore, Milano, 168-178
- Spadaro I. (2011), Tesi di Dottorato *Approccio metodologico per la messa in sicurezza di aree urbane da evento calamitoso di tipo idraulico. Il caso genovese*, Tutor Ugolini P., Coordinatore del Dottorato Busi R., Brescia
- Sprague R. H., Carlson E.D. (1982), *Building effective decision support systems*. Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall

Applicazione del paradigma Internet of places al monitoraggio ambientale attraverso l'uso di standard OGC

Federico Prandi, Raffaele De Amicis, Giuseppe Conti, Alberto Debiasi,
Marco Calderan, Stefano Piffer

Fondazione Graphitech, Via Alla Cascata 56/c, 28133 Trento, Tel. +39 0461283394, Fax +39 0461283398
{federico.prandi} {raffaele.de.amicis} {giuseppe.conti} {alberto.debiasi}
{marco.calderan} {stefano.piffer} @graphitech.it

Abstract

I progressi ottenuti nella velocità e nella capillarità delle reti di comunicazione, lo sviluppo di elettroniche sempre più piccole ed efficienti ha portato negli ultimi anni a definire il concetto di "internet of things", come un ambiente dove gli elementi fisici possano essere integrati e gestiti tramite la rete. Il passaggio successivo è quello di integrare in questo concetto la dimensione geografica, creando, di fatto, un "internet of places" costituito da una serie di risorse digitali spazio-temporali georeferenziate che sono gestite attraverso l'uso di web-service in grado di garantire la raccolta, l'organizzazione e l'utilizzo d'informazioni spazio-temporali in modo da avvicinarsi sempre più alla realizzazione del concetto di "Digital Globe".

In questo contesto il progetto BRISEIDE, che si pone come obiettivo la creazione di servizi per la gestione di informazioni spazio-temporali, può essere visto come un punto di partenza. La possibilità di accedere, visualizzare e gestire attraverso web-services le informazioni spaziali, considerando anche la dimensione temporale, è il primo risultato del progetto.

In particolare, nel paradigma delle "internet of places" si inserisce la capacità di accedere ai dati rilevati direttamente sul territorio attraverso l'utilizzo di sensori remoti, come ad esempio le reti di monitoraggio frane. In questo articolo verranno presentati i risultati ottenuti dal progetto, per quanto riguarda l'accesso, la gestione e la visualizzazione di dati provenienti da sensori per il monitoraggio di una frana situata in provincia di Trento. Attraverso l'uso del protocollo "Sensor Observation Services" (SOS) i dati di monitoraggio degli spostamenti vengono esposti come servizio e vengono resi disponibili e consumati tramite un client dall'utente. Le serie storiche contenenti i dati di spostamento sono gestiti attraverso opportuni tool all'interno del client 3D al fine di visualizzare il trend di spostamento, ad esempio in un dato intervallo temporale. In questo modo le informazioni direttamente raccolte sul territorio dai sensori vengono utilizzate in maniera completamente trasparente ed interoperabile dall'utente.

Abstract

Advances in speed and ubiquity of communication networks, the development of increasingly smaller and more efficient electronics has led, in recent years, to define the concept of "Internet of Things", as an environment where the physical elements can be integrated and managed through the network. The next step is to integrate this concept with the geographical dimension, thereby creating an "internet of places" consisting of a series of spatio-temporal geo-referenced digital resources that are managed through the use of web-service capable of ensuring the collection, the organization and use of spatio-temporal information in order to getting closer to the realization of the concept of "Digital Globe". In this context, the draft Briseide, which has as its goal the creation of services for the management of spatio-temporal information, can be seen as a starting point. The ability to access, view and manage through web-services information space, considering the time

dimension, is the first result of the project. In particular, the paradigm of the "Internet of places" is part of the ability to directly access to the data collected in the area through the use of remote sensors, such as network monitoring landslides. This article will present the results obtained from the project, with regard to access, manage and display data from sensors for the monitoring of a landslide located in the province of Trento. Through the use of the protocol "Sensor Observation Services" (SOS) data for monitoring the movements are exposed as a service and are made available and consumed by a client user. The time series containing the navigation data are managed through appropriate tools within the client, to display the 3D trend shift for example in a given time interval. In this way, the information collected on the territory directly from the sensors is used in a fully transparent and interoperable user.

Introduzione

Gli operatori di protezione civile, gli amministratori pubblici e i professionisti impegnati nella pianificazione e nella gestione delle risorse ambientali necessitano d'informazioni e funzionalità spazio-temporali a supporto del loro processo decisionale. In particolare la gestione di eventi calamitosi o il monitoraggio ambientale richiede l'accesso a dati aggiornati, disponibili in real-time e con alte frequenze di aggiornamento. Per queste ragioni tutti questi soggetti necessitano della possibilità di accedere ad una vasta serie di dati e funzioni tra cui immagini satellitari, dati geografici e dati provenienti da sensori. Questo articolo presenta il lavoro svolto nell'ambito del progetto BRISEIDE "BRIdging SErvices, Information and Data for Europe" (www.briseide.eu), ed in particolare descrive le metodologie e le implementazioni per la realizzazione di un sistema che consente agli utenti di accedere, attraverso i protocolli standard OGC, ad un SDI contenente informazioni riguardanti il monitoraggio ambientale. La capacità infatti, di accedere in tempo reale o quasi, ad informazioni provenienti da sensori ambientali, meteo o di monitoraggio, consente all'operatore una visione e una consapevolezza della situazione da analizzare. Nell'ambito del progetto BRISEIDE un aspetto fondamentale è legato allo sviluppo di pilot operativi che usufriranno di dati e servizi messi a disposizione dall'infrastruttura. In particolare il pilot che coinvolge la Provincia Autonoma di Trento è legato alla gestione di informazioni riguardanti il monitoraggio di aree soggette a frana e necessita dell'accesso ad informazioni real-time fornite dai sensori posizionati sull'area interessata. Negli ultimi anni la crescita della banda larga, le connessioni mobili e la creazione di "wireless sensor networks", hanno sempre più avvicinato l'utente al concetto di "ubiquitous computing", in cui partendo dal paradigma del "internet of objects" si arriva all'"internet of places" (Conti et al. 2011).

Stato dell'arte

Nell'ambito della protezione civile è fondamentale collezionare e analizzare dati in un ambiente collaborativo e condiviso, in modo da rispondere tempestivamente a un'emergenza. Attualmente ogni fenomeno geo-referenziato dovrebbe essere disponibile ad un determinato livello di governo e condiviso tra tutti i livelli ("Infrastructure for Spatial Information in Europe" - la direttiva INSPIRE). Essa è incentrata sulla integrazione delle informazioni geografiche ed ambientali in tutti gli Stati membri. Allo stesso tempo, la partnership Kopernikus tra la Commissione europea e l'Agenzia spaziale europea ha stabilito i servizi di base (ad esempio le previsioni riguardanti gli oceani, il monitoraggio del territorio, gli interventi di emergenza) per l'ambiente globale e la sicurezza civile. Quando si analizza il dominio specializzato di "Geographical Information" (GI), grande attenzione è dedicata ai nuovi servizi che possono utilizzare la posizione geografica come metodo principale per indicizzare e gestire le risorse digitali. Si riconosce che le attività di standardizzazione promossa dal "Open Geospatial Consortium" (OGC), hanno notevolmente contribuito al successo dei "geo web-service" e, più in generale, dei cosiddetti geoportali. La standardizzazione di geo-servizi aperti e interoperabili viene eseguita dal "Open Geospatial Consortium" (OGC, www.opengeospatial.org) in collaborazione con ISO, OASIS Open, W3C, e altri organismi competenti. OGC affronta una famiglia di "geo-service" modulari che sono

accessibili gratuitamente. Non solo è fondamentale la condivisione delle informazioni, ma in aggiunta è necessario accedere per aggiornare i dati e per conoscere l'evoluzione temporale dei fenomeni. In questo contesto per gli utenti è necessario una profonda consapevolezza della dimensione temporale delle informazioni geografiche. La dimensione temporale, infatti, è sicuramente un aspetto importante di quasi tutti i fenomeni del mondo reale. Tuttavia anche dati e sistemi GIS, tradizionalmente offrono solo uno “screenshot” della condizione del mondo reale. Come risultato molti autori hanno chiaramente indicato la necessità di modelli di dati che permettano la manipolazione di dati temporali (Snodgrass / Ahn, 1985, Tansel et al. 1993).

Un recente studio commissionato dal Centro comune di ricerca (CCR) (Dekkers, 2008), che ha investigato l'adozione d'informazioni temporali nel contesto di risorse rilevanti per la direttiva INSPIRE, ha sottolineato che vi è la necessità di avere una descrizione estesa di informazioni temporali. Lo studio ha anche definito un elenco di raccomandazioni per massimizzare i benefici riguardanti le informazioni temporali su dati geo-spaziali.

Sono state definite quattro tipologie d'informazioni temporali:

- Il “periodo di tempo” interessato dal contenuto della risorsa (chiamato anche l'estensione temporale della risorsa)
- La “data di pubblicazione” della risorsa
- La “data dell'ultima revisione” della risorsa, se la risorsa è stata rivista

Questi elementi non consentono una completa definizione delle proprietà temporali, soprattutto se si considerano alcune applicazioni chiave che coinvolgono fenomeni dinamici. Diversi altri studi hanno proposto di gestire serie temporali di “data-set”, e hanno discusso la necessità di estensioni per i metadati nel dominio temporale (Bordogna et al., 2009).

In una prospettiva più generale, una varietà di sensori remoti, dati geografici e analisi generano grandi quantità di dati, in cui la natura quantizzata delle misure, porta spesso ad una struttura dati legata al tempo. Gli esempi riguardano serie temporali, oggetti in movimento, immagini 2-D serie temporali immagini 3-D e X/Y/z cubi spaziali, e 4-D x / y / z / t cubi spazio-temporali. In questo caso sarà descritta un'estensione di “Web coverage services” (WCS) che aggiunge flessibilità, e la possibilità di elaborare le coverage in WCS (Baumann, 2010).

Briseide Data Model

Una delle caratteristiche fondamentali del “framework” proposto è che, deve essere indirizzata a esigenze di protezione civile, ma deve anche essere il più generico possibile, poiché la dimensione temporale è trasversale a diversi tipi di “dataset” geografici.

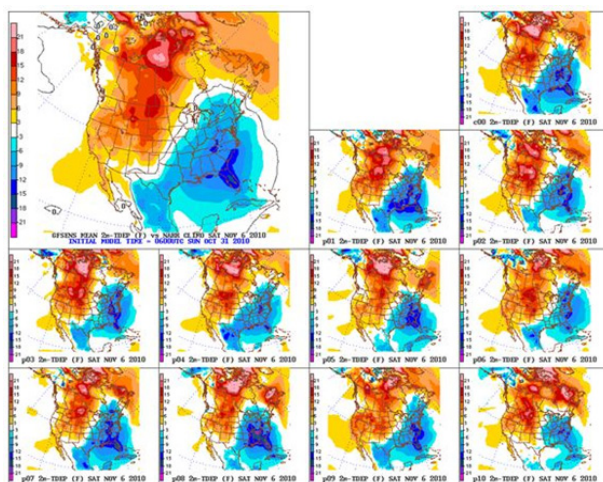
I campi di applicazione variano da servizi che stimano il rischio in relazione ad eventi sismici e frane, a servizi che valutano le condizioni delle foreste e la loro evoluzione nel tempo per identificare i possibili modelli di rischio. Per far fronte a questo enorme dominio, si è partito dal particolare caso d'uso legato al pilot e si è generalizzato per ottenere un utile estensione in grado di considerare la dimensione temporale nei casi più comuni relativi alla protezione civile, quali: la previsione di serie temporali, il rilevamento di oggetti in movimento e le serie temporali relative ai sensori. La possibilità di recuperare o interrogare dataset basati su proprietà temporali è un requisito fondamentale del framework Briseide. Per questo il passo fondamentale è stato la definizione di un modello di dati che permette di operare su dataset spaziali considerando il tempo come vera dimensione. Le principali categorie della “Geographical Information”, relative a questo progetto, sono: Raster, Vector e dataset provenienti da sensori. Per ognuno di questi è stata realizzata una ricerca su come considerare il tempo come dimensione. Nel primo caso si rileva che non è possibile definire un unico data-model per ciascuna delle macro-categorie considerate.

In primo luogo è necessaria la definizione di un profilo di metadati che consentono all'utente di recuperare i dataset contenuti nel catalogo e capire le loro proprietà temporali. Si tratta di estendere le regole di implementazione dei metadati che definiscono le quattro categorie menzionate in

precedenza. Queste categorie non consentono però una gestione completa delle informazioni temporali. Il “Briseide metadata Profile” cerca di affrontare questo problema fornendo il modello di metadati e la sua applicazione al dataset raccolto all'interno della SDI Briseide. Il profilo non è orientato ad un tipo particolare di dataset e per questo motivo è generico e non contiene alcun componente specifico. Il profilo sarà composto dai metadati di base per INSPIRE con alcuni elementi aggiuntivi al fine di descrivere le informazioni temporali contenute all'interno del dataset. Gli elementi definiti nel “profilo metadati” consentono l'individuazione del dataset utilizzando la dimensione temporale. In particolare gli elementi obbligatori individuati per il profilo di Briseide sono:

- Identification.Information.Citation.date rappresenta la data riferita alle risorse coerenti con le date incluse nelle INSPIRE “Metadata Implementation Rules” (creazione, revisione, pubblicazione),
- IdentificationInfo.resourceMaintenance.maintenanceAndUpdateFrequency rappresenta la frequenza di aggiornamento,
- IdentificationInfo.ExtendtemporalElement rappresenta il periodo coperto dalle risorse specifiche e memorizzando la data iniziale e finale.

Questi tre elementi consentono all'utente di identificare le risorse rilevanti utilizzando la dimensione temporale, fornendo informazioni sui dati, e sull'estensione temporale delle risorse. In particolare, l'uso combinato di frequenza di aggiornamento ed estensione temporale permette di coprire gli aspetti riguardanti le proprietà temporali per i dataset utilizzati nel settore della protezione civile. Per esempio, considerando una serie di previsioni sulla velocità del vento dato ogni giorno, con un “orizzonte temporale” di cinque giorni e la frequenza di 1 ora, utilizzando il tag di frequenza (1 ora) e diversi elementi temporali che partono dal giorno della previsione di inizio e finiscono dal giorno dell'ultima previsione, l'utente che richiede una certa data può trovare tutti gli intervalli che contiene la data richiesta e con la frequenza può conoscere la granularità temporale della risorsa.



- **gml:TimePeriod:**
runtime (temporal
reference of the
recorded
measurement)
- **gml:TimeInstant:**
time resolution
snapshot

*Immagine 1 – Esempio di utilizzo di “BRISEIDE metadata elements” per una serie di previsioni meteorologiche, l'elemento **TimePeriod** si riferisce al tempo di esecuzione della previsione, mentre il **TimeInstant** si riferisce alla data e al tempo di ogni singola previsione.*

Inoltre, considerando una serie di previsioni meteorologiche (immagine 1), il modello prende in considerazione la data in cui la previsione è stata generata e la data e l'ora di ogni singola previsione. Per quanto riguarda il "Data Model", i dati raster sono molto utilizzati nelle analisi di protezione civile, dove la natura quantizzata delle misure porta spesso ad una struttura dati rasterizzata. In questo caso le strutture di dati presi in considerazione sono serie temporali di immagini 3-D X/ Y/z cubi spaziali, e 4-D x/y/z/t cubi spazio-temporale. Il WCS nella sua versione attuale (Whiteside / Evans, 2008) definisce un protocollo d'accesso aperto per i dati raster multi-dimensionali. La copertura è sostanzialmente una funzione che mappa le coordinate in valori e si presenta come un array di valori multi-dimensionali, le celle contengono ("pixel", "voxel") nelle posizioni della griglia. Una vasta copertura può essere di due, tre o quattro dimensioni, contenente obbligatoriamente gli assi X e Y e opzionalmente la Z e l'asse del tempo. Il modello di dati raster multi-dimensionale, sviluppato nell'ambito del progetto, produce diversi ipercubi 3D per un numero predefinito di volte, separati da un certo periodo di tempo. Dato un tempo di esecuzione specifica, un ipercubo di dati è in genere intrinsecamente multi-dimensionale. La sua dimensione spaziale può essere estesa su longitudine, latitudine, tempo, così come sull'elevazione (Immagine 2).

I dati vettoriali sono stati classificati secondo tre categorie principali che tengono conto della dimensione temporale relativa alla geometria dell'oggetto, in particolare, queste classi sono:

- Feature History: oggetti che cambiano la loro geometria / posizione e altri attributi nel tempo;
- Feature snapshot: come Feature History ma da uno stato al successivo non è possibile dire quale oggetto si è trasformato "in cosa";
- Moving Objects: oggetti che cambiano la loro posizione e altri attributi nel tempo. La loro geometria è sempre fissa.

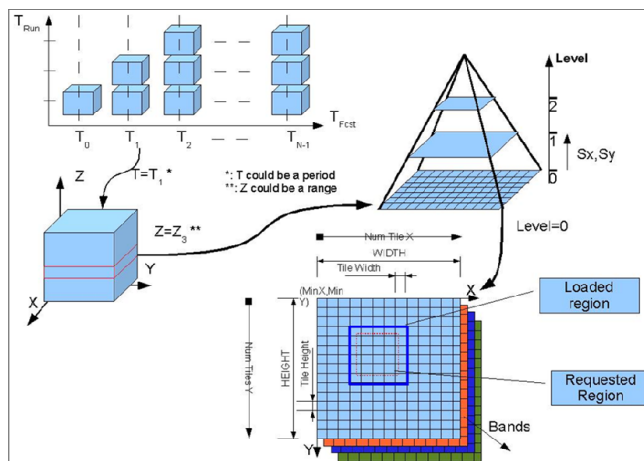


Immagine 2 – Il "Coverage Hypercube data model" usato per fornire servizi di una serie multidimensionale di Raster (immagine gentilmente offerta da SINERGIS).

Ingestion e servizi web

Nel caso della protezione civile, un punto cruciale è la gestione del rischio; l'utente deve accedere a un gran numero di dataset aggiornati in real-time. BRISIEDE fornisce servizi di "ingestion" per memorizzare i dati e impostare i servizi in tempo reale. Un'altra questione è legata all'acquisizione automatica di metadati con molti tag, che possono risultare difficili da gestire automaticamente. L'"ingestion" consente, per Briseide, di generare automaticamente nuovi metadati, aggiungendo specifici tag dinamicamente.

Il sistema proposto si basa su una “Service-Oriented Architecture” progettata per fornire tutte le funzionalità necessarie per accedere, gestire ed elaborare grandi quantità di GIS multi-dimensionali e dati satellitari tramite OGC – servizi web OpenGIS. L'obiettivo del sistema è di offrire un portale basato su un Web client 3D e conforme allo standard OGC in grado di fornire accesso alle informazioni geografiche interoperabili attraverso il supporto di numerosi servizi web, come WMS, WFS, WCS, SOS e WPS, e fornire un forte sostegno agli operatori attraverso un ambiente ideale per l'analisi integrando tecniche informatiche e visive. I servizi sviluppati saranno anche l'utilizzo di dataset messi a disposizione dalla Pubblica Amministrazione, comprese le regioni e i dipartimenti della pubblica amministrazione.

BRISEIDE 3D client

Il framework sopra citato è il “core” dell'architettura Briseide, ma al fine di fornire agli utenti finali uno strumento in grado di consumare i servizi spazio-temporali forniti dai server Briseide, è stato necessaria un'applicazione client.

L'applicazione “Briseide client 3D” dovrebbe essere in grado di consumare i servizi OGC standard e di gestire la dimensione temporale prevista dal “BRISEIDE data model”. L'applicazione client sarà sviluppata utilizzando il framework Eclipse. Si tratta di un framework open-source, con un potente IDE (Integrated Development Environment).

L'intera applicazione è stata sviluppata in Java con l'applicazione client che estende uDig, mentre il software WorldWind viene utilizzato per garantire la Geo-Visualizzazione 3D e si avvale della tecnologia Java per facilitare l'implementazione di applicazioni client.

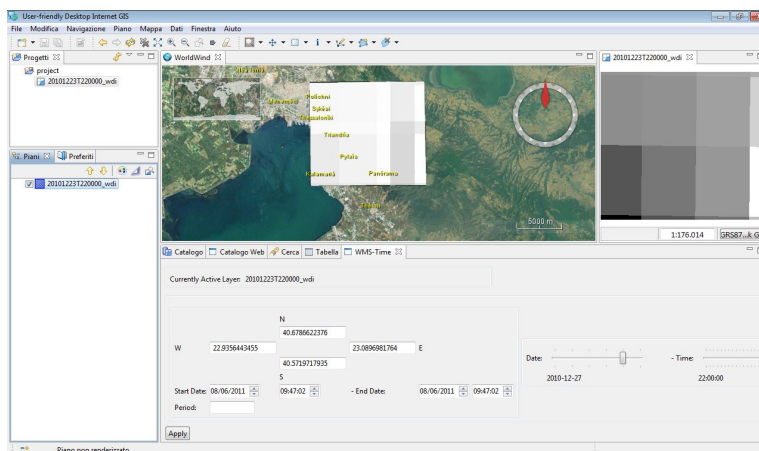


Immagine 3 - Accedere ai servizi WMS con il support temporale: l'utente può richiedere al server uno specifico Dataset selezionando la data e il tempo. Nello scenario degli incendi boschivi, l'utente accede alla “forza” del vento prevista in una determinata data.

E' possibile considerare tre problemi riguardanti la gestione delle informazioni temporali nel dominio spaziale. La prima è la possibilità di recuperare i dati sulla base delle informazioni temporali del dataset, la seconda comporta la capacità di gestire le informazioni temporali al fine di generare analisi e il terzo problema riguarda la capacità di rappresentare semplicemente la dimensione temporale in modo utile. L'applicazione non è solo in grado di accedere ai servizi OGC standard, ma permette anche di sfruttare la dimensione temporale. L'utente una volta selezionato il servizio desiderato (WMS, WCS, o WFS) può utilizzare una semplice interfaccia grafica selezionando il dataset relativo a una data specifica (figura 3).

Uno degli aspetti del progetto Briseide è anche la capacità di eseguire analisi “visive” sui dati forniti, per questo le funzionalità client comprendono diverse visualizzazioni grafiche di dati e servizi.

La soluzione sviluppata è in grado di cambiare la scala dei fenomeni visualizzati o di modificare la tabella dei contenuti in base ai valori del fenomeno osservato. Inoltre l'interfaccia client consente di visualizzare i dati dei sensori utilizzando grafici 2D o visualizzazioni 3D in base a un intervallo temporale specifico (Immagine 4).

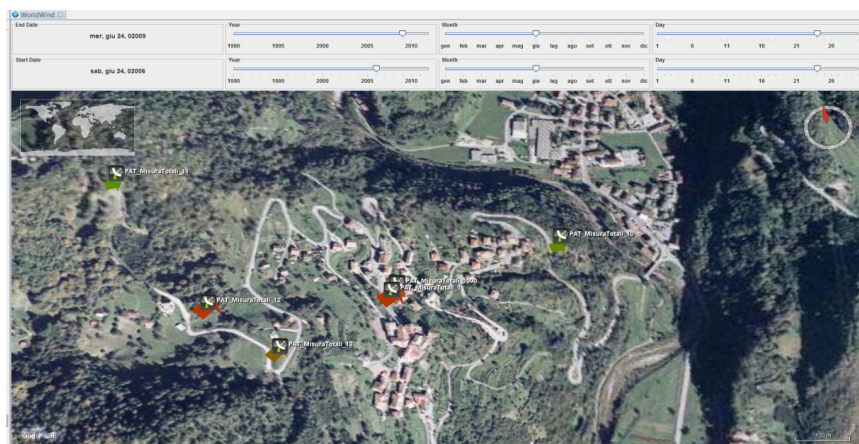


Immagine 4 – La visualizzazione Grafica delle informazioni riguardanti i sensori: l'utente muovendo il “time slider” sceglie l'intervallo di tempo desiderato. Le frecce rappresentano la magnitudine e la direzione del vettore spostamento monitorato nello scenario della frana.

Un ultima caratteristica da prendere in considerazione nel client 3D è la capacità di gestire il formato Net-CDF. NetCDF è un insieme di librerie software che supportano la creazione, l'accesso e la condivisione di dati scientifici array-oriented. Ci sono varie grandezze fisiche (come ad esempio pressione e temperatura) collocate ad una particolare latitudine, longitudine, livello verticale, e temporale. In questo modo il client può accedere a diverse informazioni multidimensionali che consentono all'utente una quantità enorme di analisi e visualizzazioni.

Conclusioni

Quest'articolo descrive i risultati dei primi anni del progetto Briseide. L'obiettivo del progetto è di fornire un'architettura orientata ai servizi per le attività della protezione civile, e in particolare:

- estensione “time-aware” dei modelli di dati sviluppata nel contesto di progetti INSPIRE correlati, cioè nel contesto del GMES, e del programma eContentPlus;
- applicazioni 3D basate sul Web, su misura per le esigenze specifiche parti interessate (ad esempio della Protezione Civile);
- servizi per la gestione dei dati spazio-temporali, di creazione, elaborazione, analisi e visualizzazione interattiva.

In questa fase i risultati includono la definizione di un modello di dati generici e metadati che tengono conto della dimensione temporale nei dataset geografici forniti dai pilot. Inoltre un'architettura orientata ai servizi è stata implementata al fine di fornire servizi come i dataset Briseide in accordo con il dataset sopra citato. Infine un portale web e un'applicazione client 3D in grado di consumare i servizi Briseide standard è in fase di sviluppo. Al fine di completare gli obiettivi di Briseide diversi passaggi devono essere ultimati; innanzitutto

un sistema client server in grado di eseguire i processi che sono essenziali per gli operatori della protezione civile. Inoltre il modello di dati e i servizi devono essere condivisi con gli altri contesti, esterni al consorzio Briseide, al fine di valutare la scalabilità e l'applicazione dei servizi di Briseide a livello paneuropeo.

Riconoscimenti

Il progetto Briseide ha ricevuto fondi dall'EC, e è stato co-finanziato dal programma CIP-ICT come parte del "Competitiveness and innovation Framework Programme" (http://ec.europa.eu/ict_psp). L'autore è il solo responsabile di questo lavoro. La CE non è responsabile per l'uso che può essere fatto delle informazioni contenute in questo documento.

References

- Baumann P., 2010. *The OGC web coverage processing service (WCPS) standard*. GeoInformatica Volume 14, Number 4, 447-479, DOI: 10.1007/s10707-009-0087-2.
- Bordogna, G., Bucci, F., Carrara, P., Pagani, M., Pepe, M., Rampini, A. 2009. *Extending INSPIRE Metadata to imperfect temporal descriptions*. International Journal of Spatial Data Infrastructures Research, Special Issue GSDI-11, 2009-04-03
- Conti G., Watson P., Shape N., De Amicis R., Prandi F., 2011. *Enabling the "Internet of Places": a virtual structure of space-time-tasks to find and use Internet resources*. COM GEO 2011 - Washington USA. 2011
- Dekkers M. 2008. *Temporal Metadata for Discovery - A review of current practice*, Craglia M. (ed.), EUR 23209 EN, JRC Scientific and Technical Report.
- MacEachren A.M., 1994. Visualization in modern cartography: setting the agenda. In: *Visualisation in Modern Cartography* NY: Elsevier Science Inc., pp. 1-12
- MacEachren, A.M., Kraak M.-J. 1997. Exploratory cartographic visualization: advancing the agenda. *Computers and Geosciences* 23 (4), pp. 335-344.
- Peng Z-R and Tsou M-H 2003 *Internet GIS: Distributed Geographic Information Services for the Internet and Wireless Network*. New York, John Wiley and Sons.
- Snodgrass, R. and Ahn, I. 1985 A Taxonomy of Time in Databases. In: *Proceedings of ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*, pp. 236-246.
- Tansel et al. 1993. *Temporal Databases*. Benjamin/Cummings Publishing.
- Whiteside A., Evans J. (eds) 2008. *Web coverage service (WCS) implementation specification*. Number 07-067r5. OGC.

La rappresentazione dell'invisibile: il sentiment mapping

Mauro Preda

Università Cattolica del Sacro Cuore, sede di Milano, Dipartimento di Scienze statistiche
Tel. 02/72342305, Fax 02/72343064, mauro.preda@unicatt.it

Abstract

Questo lavoro è il risultato di un'attività interdisciplinare: linguistica computazionale ed in particolare le tecniche per l'estrazione automatica di informazioni implicite contenute nei testi (text-mining), la statistica e la geografia. Il fine è la mappatura del sentiment, estratto grazie all'analisi semantica dei documenti distribuiti nella rete: e-mail, sms, post sui blog, ecc. Le applicazioni pratiche possono essere molte, in ambito economico, marketing, scienze sociali, politiche, di intelligence, ecc.

This work is the result of an interdisciplinary activity: computational linguistics and in particular techniques for automatic extraction of implicit information contained in the texts (text-mining), statistics and geography. The aim is the mapping of the sentiment, extracted through semantic analysis of documents distributed in the network: e-mail, text messages, blog posts, etc.. Practical applications may be many, in economics, marketing, social sciences, political, intelligence, etc. ..

Lo spazio geografico, quello che vediamo svelato, materializzato ed immobilizzato sulla carta, si ottiene grazie ad un processo di trasformazione, noto come "proiezione", che deriva da quella prodigiosa "polvere di proiezione" ricercata nell'antica alchimia che aveva la proprietà di trasformare il metallo vile in oro. Con un processo analogo di trasformazione ora si vuole trattare proprio lo spazio nascosto, quello delle reti o Cyberspazio, in modo tale che lo si riduca e lo si blocchi nelle dimensioni e nelle forme comprensibili ai nostri occhi. Il rapporto tra il reale ed il cyberspazio, inizialmente antitetico, può mutare fino a diventare un rapporto dialettico; la parte nascosta, come vi vedrà in seguito, ci può essere di grande aiuto per meglio interpretare il reale stesso. Come ci dice anche Cristiano Giorda, *nella geografia il virtuale era già presente: nelle carte geografiche e nei GIS ma anche nelle mappe mentali, nei modelli matematici ma anche nei legami affettivi che formano il senso dei luoghi. Come ogni rappresentazione geografica, scrive Lévy, "il virtuale scava pozzi di senso al di sotto della piattezza fisica immediata". Tutta la geografia, effettivamente, non è altro che la virtualizzazione dello spazio: lo spostamento nel campo del linguaggio della relazione fra l'uomo e la Terra. Ludwig Wittgenstein racchiuse tutto questo concetto in una formula notissima: "I limiti del mio mondo sono i limiti del mio linguaggio".*

Uno spazio, quindi, dove una fitta rete di relazioni che costituiscono il tessuto connettivo tra le diverse entità che lo compongono entrano in gioco e lì si muovono. Le piste di movimento per lo più sono invisibili o nascoste, pensiamo alle relazioni nello Spazio-Internet al cosiddetto cyberspazio, a quello spazio silenzioso, multidimensionale ed invisibile, in continua espansione che è rappresentato delle reti complesse di comunicazione tra le quali il WEB. A questo punto possiamo azzardare l'intenzione ambiziosa di addentrarci, in quella che potremmo chiamare "l'altra faccia

della geografia”. L’analisi geografica si trova sempre di fronte a due realtà ben distinte: una che ci conduce comodamente sulla superficie e che ci consente di vedere e misurare Gaia che brilla e risplende alla luce del sole (**Gé** da cui Gaia). L’altro cammino, ci porta, invece, nelle zone oscure e sotterranee (**Ctòn** contrapposto a **Gé**), ctoniche, appunto, quindi, invisibili. Questi spazi dinamici, continui, senza confini ed inafferrabili sono per esempio quelli culturali, religiosi, linguistici, di pensiero e quindi politici, di sicurezza, ecc. In questo continuo rapporto dialettico tra visibile ed invisibile, materiale ed immateriale, si realizza oggi, grazie anche alle reti informative, il territorio stesso. Certo è che la metrica tradizionale ed i pur sofisticati strumenti informatici che ci troviamo ad usare se non adeguatamente riprogettati rischiano di essere insufficienti a cogliere la realtà multiforme e multidimensionale del territorio. La nuova economia globale ha di fatto accorciato le distanze quasi annullandole e compresso il tempo per la velocità dei trasporti e delle informazioni. La distanza è diventata un’entità, un concetto pure difficile da afferrare e misurare. Una trasformazione, questa, del rapporto tra i sistemi di produzione e la rappresentazione dello spazio, che ha appassionato critici dell’economia politica, urbanisti, geografi e filosofi. Riprendendo il pensiero e le parole del Farinelli, ammettiamo che *“rispetto al passato, il Moderno instaura un’inversione di tendenza: la geografia resta l’imitazione della mappa, ma quest’ultima a sua volta non è più la copia del mondo, bensì è il mondo che diventa la copia della mappa. Lo stato moderno fin dalla sua nascita doveva essere necessariamente, proprio come una tavola, continuo, omogeneo ed isotropico, doveva dunque possedere le tre proprietà che nella geometria euclidea appartengono all’estensione. Quello che si chiama potere è stato, modernamente, nient’altro che la pratica applicazione di tale modello, dunque il predominio della logica cartografica.”* “L’evento decisivo che segna l’inizio della **globalizzazione** cadde nel 1969 negli Stati Uniti con la prima rete di comunicazione elettronica, proprio mentre eravamo davanti al televisore (come me!) a guardare il primo atterraggio sulla Luna. In silenzio due computer iniziavano a dialogare ed a scambiarsi dati, la materia iniziò così a mutarsi in immateriali unità d’informazione. Preso nella rete, il mondo topografico e spaziale, quello che vediamo e che davvero distingue la superficie della Terra da quella del suo astro, il mondo moderno, iniziò a dissolversi. **È l’inizio dell’esaurimento del regno del visibile.** Da questo momento la crescita urbana si svincola del tutto dal quadro di riferimento dello stato-nazione per dipendere, secondo la logica dell’universalità, del lavoro. Perciò la città viene definitivamente a perdere, nel suo funzionamento, i suoi storici attributi euclidei, diventa discontinua e disomogenea e le sue parti sono funzionalmente voltate in tutte le direzioni, si frantumano. La città più importante non è la città più grande, ma questo ci sorprende soltanto perché siamo ancora abituati a pensare il mondo come una tavola, dove la superiorità di una figura rispetto all’altra dipende dall’estensione, è cioè da una nostra valutazione poggiata ancora sulle proprietà e regole della geometria euclidea.” (Farinelli, 2006)

Il punto di partenza lo dobbiamo individuare proprio nel linguaggio e questo ci pone nella prima condizione di chiederci ancora: ma dall’idea che ci siamo fatta di territorio, cioè di una entità dinamica, multidimensionale, quasi sfuggente, non è riduttivo utilizzare ancora la parola “territorio”? Certo il termine ci induce subito ed erroneamente a credere ad un suo diretto legame con “terra” e quindi ai concetti di estensione, materialità e solidità. L’analisi etimologica della parola rileva, invece, un’origine ben diversa. Infatti, sempre secondo la lezione del Farinelli, un chiarimento lo troviamo nel Corpus Juris di Giustiniano e precisamente nel Digesto, sotto la rubrica «De significatione verborum», ove il territorio corrisponde all’estensione che ricade sotto la giurisdizione del magistrato, è definito dall’atto di dire giustizia, dell’esercizio del potere: il termine quindi non ha nulla in comune con la terra ma discende dalla stessa base di «**terrore**» (terrere). *“Per comprenderlo basta considerare l’ambigua figura dello Spaventapasseri, che non a caso nella media e infima latinità si diceva appunto «territorium» [Du Cange, a.v.]: piantato in mezzo al campo ha il compito di rappresentare il diritto, la proprietà che su di esso vige, ma allo stesso*

tempo di tradurre tale diritto in termini naturali, nella forma di spauracchio nei confronti degli uccelli, quasi che il diritto fosse un accessorio spontaneo e immediato del campo stesso." (Farinelli F., 2009) In questa direzione, quindi, il territorio finisce per superare i limiti imposti della fisicità rappresentando il risultato-processo di una sequenza di fasi di controllo sempre più articolate e complesse (controllo intellettuale, materiale e strutturale): questo processo è definito **territorializzazione** (Turco, 1988). A questo punto, se si guarda il territorio, inteso come risultato-processo di territorializzazione, anche alla luce della straordinaria espansione delle reti di comunicazione globali (prime fra tutte Internet) ed insieme l'"infitimento" dei singoli nodi-punti di connessione, non può sfuggire come in esso sia in atto una sorta di metamorfosi che può essere letta da un lato come uno degli effetti della robustezza strutturale delle reti stesse dall'altro come l'esito della spontanea tensione alla comunicazione globale, vedi per esempio il fenomeno dei social network. Ora, di questo processo che interessa più ambiti, dalla vita sociale, civile, politica, ecc. sta proprio alla geografia pure definita come "scienza delle relazioni nello spazio" (Gottmann, 1966). il compito di fornirci un percorso di analisi ed una possibile chiave di lettura. Proprio in questo periodo, in piena globalizzazione, la geografia potrebbe ritrovare le sue antiche origini e la sua identità tornando ad occuparsi proprio del "ciò che per sua natura è invisibile"¹ e la cartografia ritornerebbe, quindi, ad essere uno strumento più concettuale, il primo modello per un riferimento non tanto metrico e geometrico, quanto, invece, culturale, antropico, politico, economico, sociale, ecc. Prendiamo ora le mosse dall'articolo di Steven Johnson, apparso sul WEB ed intitolato "Mind Share"². *Che cosa succede quando si inizia a vedere il WEB,³ il principale servizio presente in Internet, come una **matrice di menti**, non di documenti? La mente diventa una parte dello spazio puro. Il sito personale diventa un'estensione della nostra memoria, come nella visione di Vannevar Bush del Memex, ma i ricordi fanno parte dell'**intelligenza collettiva del web**. E una rete orientata intorno a menti collegate che rende più facile per quelle menti trovare l'un l'altro nella vita reale.* Il pensiero, molto avvincente e chiaro ha, inoltre, il pregio di introdurre il concetto chiave di azione sinergica e collettiva di mente ed intelligenza che si realizzano nelle reti e quindi direttamente sullo stesso territorio. Normalmente, infatti, quando pensiamo al concetto d'intelligenza lo associamo immediatamente, così come ci siamo abituati, a un qualcosa di intimo, soggettivo, personale, diverso da soggetto a soggetto. Pierrè Lévy e Derrick de Kerckhove, introducendo i termini di **intelligenza collettiva** ed **intelligenza connettiva** intendono, invece, proporci una nuova interpretazione, riferirsi a qualcosa di molto più ampio che va oltre l'ambito della sfera privata e personale. *"L'intelligenza collettiva è un'intelligenza distribuita ovunque, continuamente valorizzata, coordinata in tempo reale, che porta ad una mobilitazione effettiva delle competenze"* (Lévy, 1996, p. 34) Assume, aggiungiamo, una valenza ed una dimensione territoriale, l'intelligenza collettiva ha origine dal basso, nasce, appunto, con le azioni di ogni individuo ed esiste proprio grazie ai legami tra le diverse persone. Come scrive, ancora, Lévy: *"Nel momento in cui l'altro è una fonte di conoscenza, vale anche il contrario. Anch'io, qualunque sia la mia posizione sociale attuale, qualunque sia il giudizio rilasciato dall'istituzione scolastica su di me, rappresento per gli altri un'occasione di apprendimento [...] Anche se sono disoccupato, anche se non ho soldi, anche se non sono diplomato, anche se tiro a campare in periferia, anche se non so leggere, nonostante tutto non sono un nulla. Non sono interscambiabile. Ho un'immagine, una posizione, una dignità, un valore personale e positivo nello spazio del sapere. Tutti gli esseri umani hanno il diritto di vedersi riconoscere un'identità di sapere"* (Lévy, 1966, p. 33).

¹ Ci si deve riferire necessariamente ad Anassimandro di Mileto (610 a.C. circa – 546 a.C. circa), filosofo presocratico e come vuole la tradizione, primo cartografo. Fu proprio lui il primo che "osò" tracciare la prima immagine geografica, cosa che gli costò una grave accusa di empietà, per essersi permesso di rappresentare la terra e il mare dall'alto, come soltanto agli Dei è consentito; ma non solo questo, un altro grave errore fu proprio l'aver costretto il Tutto in continuo divenire immobilizzato e ridotto in sole due dimensioni.

² http://www.wired.com/wired/archive/11.06/blog_spc.html

³ WEB acronimo di "World Wide Web" tradotto letteralmente in italiano: "ragnatela grande quanto il mondo".

L'intelligenza connettiva è, inoltre, intersoggettiva, nel senso che la conoscenza si trova tra i soggetti e non solo all'interno dei soggetti stessi. Connessione, quindi, non vuol dire massificazione, omologazione ma sinergia e collaborazione per il raggiungimento di un obiettivo comune: un'occasione di crescita libera⁴ e spontanea.

Prende quindi avvio da queste condizioni di base l'idea di attingere proprio dal WEB quei dati distribuiti che servono alla realizzazione del prototipo di mappa del sentiment. I dati in questione sono di fatto i testi liberi e spontanei es. i blog, un corpus di dati testuali ed informativi che rappresentano un concentrato di informazioni e di emozioni, un corpus che Ong ridefinisce in una felice sintesi come "oralità secondaria". La fase più recente della storia della comunicazione, la fase dell'oralità secondaria, dominata dagli strumenti della tecnologia elettrica ed elettronica (dal telegrafo al Web), che hanno radicalmente trasformato i criteri di scambio delle informazioni producendo eccezionali conseguenze in tutti i settori della società e della cultura, ha, riprendendo le parole di Ong *"sorprendenti somiglianze con quella più antica per la sua mistica partecipatoria, per il senso della comunità, per la concentrazione sul momento presente e persino per l'utilizzazione di formule. Ma si tratta di un'oralità più deliberata e consapevole, permanentemente basata sull'uso della scrittura e della stampa, che sono essenziali per il funzionamento delle attrezzature, nonché per il loro uso. L'oralità secondaria è molto simile, ma anche molto diversa da quella primaria. Come quest'ultima, anche la prima ha generato un forte senso comunitario, poiché chi ascolta le parole parlate si sente un gruppo, un vero e proprio pubblico di ascoltatori, mentre la lettura di un testo scritto o stampato fa ripiegare gli individui su di sé"* (J.W. Ong, 1986). Proprio grazie alla costante espansione della comunicazione globale, si è pensato di rappresentare su carte tematiche quelle informazioni implicite che si possono recuperare dalla grande quantità di testi distribuiti nel WEB. Le applicazioni possono essere molto numerose, solo a titolo di esempio possiamo prevedere applicazioni, in ambito di geomarketing, scienze sociali, economiche, politiche, ecc.

A questo punto gli ingredienti necessari per poter avviare un processo di analisi che ci porti a rappresentare cartograficamente i pensieri distribuiti nel WEB ci sono tutti e gli strumenti necessari sono nell'ordine: l'analisi semantica con il text mining⁵, l'analisi statistica e l'analisi spaziale.

Grazie alla collaborazione di due società, la Expert System, società leader in software semantici, ed il IlGiornale.it, quotidiano on-line nazionale, è stato possibile realizzare un primo prototipo di analisi. La prima ha gentilmente concesso l'utilizzo del software per l'analisi semantica; la seconda ha concesso l'accesso ai dati da analizzare. Quello che è stato sviluppato è quindi un prototipo sperimentale, volto a scoprire la validità e l'utilità pratica di questa idea. Si è cercato di rispondere all'esigenza de Il Giornale.it di conoscere più a fondo i propri lettori, analizzando le opinioni ed i commenti, gli scambi di idee, che gli utenti registrati lasciano sul sito.

Negli ultimi anni c'è stato un boom dell'utilizzo di internet e di conseguenza dello scambio di informazioni tramite la rete. Al giorno d'oggi Internet contiene un'enorme quantità di dati immagazzinati in miliardi di pagine ed è usato per gli scambi di informazione in tutto il globo. Sono numerosissimi i forum dove gli iscritti si scambiano informazioni e ormai ogni sito internet possiede una sezione dove è possibile commentare ed inserire la propria opinione su prodotti o tematiche di ogni genere. Le ricerche basate sul semplice utilizzo di parole chiave spesso inefficienti sono un collo di bottiglia per lo sviluppo del web. Una delle soluzioni proposte per ovviare a questo problema consisterà nel dotare le pagine web di notazioni semantiche, che potranno essere utilizzate per una ricerca più efficiente delle informazioni. Nel prossimo futuro

⁴ Le attuali rivolte contro i regimi "dell'età della globalizzazione" che esplodono prima nella rete sono un chiaro esempio del processo di auto-organizzazione dei popoli oppressi dalle dittature.

⁵ Il text-mining consiste in un processo automatico di analisi software che consente l'estrazione di informazioni implicite contenute in grandi quantità di testi e documenti scritti. L'informazione acquista più valore quando è collocabile pure spazialmente.

questo potrà divenire realtà, con l'avvento del web 3.0. Uno dei motivi per cui questo non è ancora stato attuato consiste in un circolo vizioso da cui è difficile uscire. Infatti creare un web semantico senza avere gli strumenti software adatti a sfruttarne le potenzialità risulta inutile; lo stesso vale al contrario, infatti implementare software che utilizzano dati semantici, che non esistono ancora e non si sa se mai ci saranno, è una spesa di risorse ingiustificata. In attesa di questa evoluzione, per rispondere all'esigenza di estrarre informazioni da testi scritti in linguaggio naturale, sono state sviluppate sofisticate tecniche statistico-linguistiche. Per estrarre informazioni da un testo è necessario prima di tutto fare in modo che il computer capisca il senso delle parole scritte. Il processo che permette di distinguere l'accezione con cui viene utilizzata una parola viene chiamato **disambiguazione**. La disambiguazione semantica al calcolatore può essere utilizzata dunque per estrarre informazioni dai testi, per classificare i testi in diverse categorie. La disambiguazione semantica è il processo di identificazione del significato di ogni parola di una frase secondo il contesto in cui viene utilizzata. In letteratura vengono descritti diversi metodi per arrivare alla disambiguazione del senso delle parole, utilizzando basi informative come il WordNet che è una rete semantica di libero utilizzo per la lingua inglese. WordNet è nata e viene mantenuta presso l'Università di Princeton sotto la direzione del professor George A. Miller. Ora esiste anche una versione di WordNet in italiano, ItalWordNet, nata all'interno del progetto EuroWordNet. Come ogni rete, la rete semantica è formata da nodi e dai legami instaurati tra di essi. I nodi della rete semantica sono concetti o classi di sinonimi detti *synset* (dall'inglese "set of synonyms"), legati l'uno all'altro tramite diverse relazioni semantiche. Quindi la rete semantica è un grande database della lingua utilizzato come banca dati organizzata gerarchicamente ad albero per cercare il significato di una parola.

I *synset* sono divisi in nomi, aggettivi, verbi e avverbi. Naturalmente ogni singolo lemma, cioè parola nella sua forma base (infinito per i verbi, singolare per sostantivi e singolare maschile per aggettivi), può apparire in più di un *synset*, poiché significati diversi di una stessa parola sono assegnati a *synset* differenti. Ogni *synset* è definito da una glossa che spiega il significato del concetto rappresentato e contiene le parole o le espressioni che sono generalmente utilizzate per esprimere quel concetto. Infine ad ogni *synset* è associato anche un numero che indica la frequenza con cui una parola appare con quello specifico significato. Infatti solitamente per una parola con più significati, ce ne sono alcuni che sono molto più comunemente usati di altri. I legami che uniscono i nodi della rete sono relazioni semantiche di vario tipo. Le più importanti sono le relazioni di iponimia e iperonimia per i sostantivi e aggettivi, troponimia ed iperonimia per i verbi. Un sostantivo è iperonimo di un altro se il suo significato è incluso o è una specificazione del significato dell'altro. Per esempio cacciavite è un iperonimo di attrezzo. Le relazioni di iponimia per i sostantivi e troponimia per i verbi indicano la relazione inversa.

Un'altra relazione importante è quella di olonimia e meronimia. Una parola è olonima di un'altra se quest'ultima fa parte della prima. Edificio è olonimo di finestra. Come prima, la relazione di meronimia è la relazione che va nel senso contrario ad olonimia.

Ci sono poi altri e numerosi tipi di legami semantici tra i *synset*. Uno dei più significativi è la relazione di *synset/geografia*, dove i *synset* che definiscono luoghi geografici sono legati tra loro in base alla loro inclusione geografica. Per esempio Europa è legata ad Italia che a sua volta include il *synset* Milano. Altri legami uniscono *synset* di tipo diverso, come link tra sostantivi e verbi di cui spesso sono soggetto, oppure aggettivi e sostantivi che generalmente sono legati nelle frasi.

Percorrendo la rete a partire da un dato concetto si può ricavare la distanza semantica che intercorre tra due parole e si definisce così una gerarchia, che verrà sfruttata proprio per la disambiguazione.

Uno dei metodi più comuni utilizzati per la disambiguazione del significato delle parole (WSD - Word Sense Disambiguation) a partire da una rete semantica è quello che utilizza la distanza concettuale tra i *synset*. La distanza concettuale è una misura che serve a quantificare la relazione che intercorre tra il senso delle parole ed il contesto in cui si trovano. Questa determina la vicinanza nello spazio dei significati tra coppie di parole, prendendo come riferimento una rete semantica gerarchica. La misura della distanza concettuale dovrebbe essere sensibile a:

- la lunghezza del percorso più breve che unisce i concetti considerati;
- la profondità nella rete gerarchica: i concetti che si trovano più in profondità nella rete gerarchica dovrebbero essere classificati come più vicini ed aver quindi più peso, poiché più specifici.
- la misura dovrebbe essere indipendente dal numero di concetti che si stanno misurando.

La densità concettuale CD del concetto c è definita dal rapporto tra i punti pesati della sotto-gerarchia di c e il numero di synset discendenti dal concetto c . Quindi h è l'altezza della sotto-gerarchia di c , m il numero di punti (synset) contenuti in essa delle parole trovate nel contesto e n_{hyp} il numero medio pesato di iponimi per nodo della sotto-gerarchia.

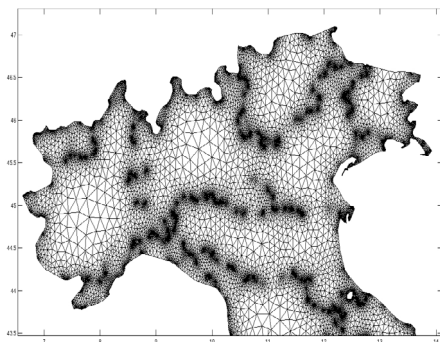


Figura 1 – Raffittimento della rete di contatti.

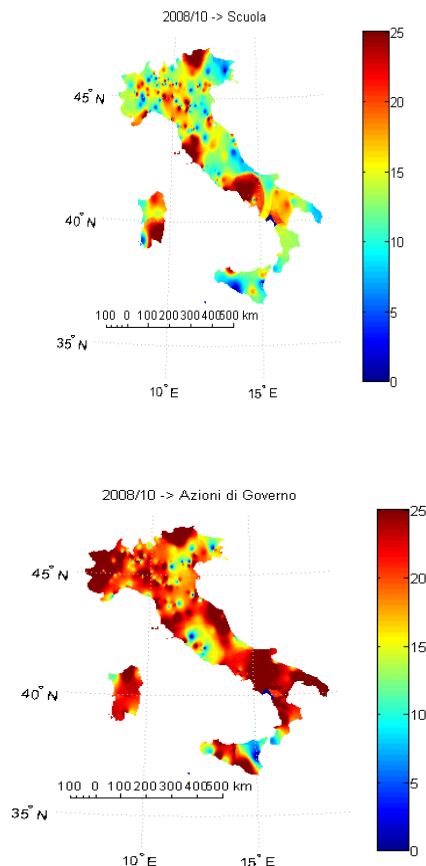
Utilizzando quindi la rete semantica e la densità concettuale è possibile stabilire l'accezione con cui viene utilizzata una parola all'interno di un testo e comprendere in modo automatico il significato di un testo. Attorno alla disambiguazione semantica nascono così dei software che a partire dal risultato della disambiguazione classificano i testi e ne estraggono informazioni. Uno di questi è COGITO, sviluppato dalla Expert System.

Partendo da dati estratti dall'analisi semantica geo-referenziati, è possibile rappresentare delle mappe geografiche tematiche che permettono di avere una visione immediata di come questi dati si distribuiscano sul territorio. Ciò diventa ancora più interessante se si inserisce anche la dimensione temporale. Per disegnare

le carte sono in gioco diverse variabili. Innanzitutto in base alla numerosità del campione di dati da rappresentare si dovrà scegliere la discretizzazione temporale in modo da avere sottoinsiemi statisticamente significativi. Infatti se la discretizzazione temporale viene fatta con intervalli di dimensione troppo ridotta, i dati potrebbero perfino essere insufficienti a riempire la superficie di una mappa. Al contrario, se si utilizzano intervalli troppo grandi, si perdono informazioni, poiché le mappe tendono ad uniformarsi, essendo il valore rappresentato il valore medio calcolato sull'intervallo temporale, e quindi diventano indipendenti dal tempo.

I dati geo-referenziati sono distribuiti in modo discreto. Le singole informazioni ma anche i concetti generali espressi nei testi, sono riconducibili per lo più a punti sulla mappa. I punti possono rappresentare la localizzazione approssimata del soggetto scrivente ma anche la localizzazione dell'oggetto cui il suo messaggio testuale fa riferimento. Per esempio può emergere che n individui concentrati in una determinata area si interessano a temi relativi alla scuola, alle azioni di governo, ecc. ma anche quali sono e dove sono i gli oggetti fisici cui i testi fanno riferimento es. quella scuola, quel Comune ecc. Ogni punto viene poi relazionato al più vicino e/o simile, in modo da ricostruire teoricamente la rete di tutte le più probabili relazioni spaziali (v. figura 1). A questo punto occorre riempire gli spazi tra un punto e l'altro, creando una superficie continua di valori. Anche in questo caso ci sono diverse possibilità di risoluzione del problema. Un primo metodo consiste nel definire delle aree per le quali viene calcolato un valore singolo e quindi tutti i dati presenti in quell'area verranno riassunti in uno, tipicamente il valore medio. Il metodo più idoneo individuato è stata l'interpolazione dei dati puntiformi. In questo caso si deve trovare un buon metodo di interpolazione. Nelle elaborazioni sono stati utilizzati metodi diversi di interpolazione: l'algoritmo nearest neighbour, il kriging, il metodo IDW (Inverse Distance Weighted interpolation), ma ve ne sono molti altri, come l'interpolazione polinomiale o l'interpolazione spline. Soprattutto l'ultima è molto utilizzata, ma nel nostro caso questo metodo introdurrebbe caratteristiche nella superficie non presenti nelle osservazioni, un effetto indesiderato.

Qui di seguito si riportano due esempi di sentiment mapping riferiti al mese di ottobre dell'anno 2008 e relativi al tema scuola ed azioni di governo, ove le tonalità di colore rappresentano le aree con i diversi gradi di attenzione all'argomento discusso sul WEB



Bibliografia

- Barber, C. B., Dobkin, D. P., and Huhdanpaa, H., (Dec.1996), *The quickhull algorithm for convex hulls*. ACM Transactions on Mathematical Software 22, 4, 469–483.
- Cipriani L. (2008), *Processamento automatico dei testi: tecnologie, algoritmi matematici a supporto dell'analisi e rappresentazione dello spazio semantico*, Tesi di Laurea Specialistica, AA 2008/'09, Politecnico di Milano, Relatore: Prof. Luigi Mussio, Correlatore: Prof. Mauro Preda
- ExpertSystem. *Cogito studio discover, user manual*. Version: CSD 2.7, CRules 11.15, Semantic Disambiguator 11.1 .
- Dematteis G., Ferlaine F. (2003), *Il Mondo e i Luoghi: geografie delle identità e del cambiamento*. Torino, Ires Piemonte
- Farinelli F. (2009), *Crisi della ragione cartografica*, Einaudi, Torino
- Farinelli F. (2006), *Il globo moderno, copia della mappa*, intervista a cura di Roberto Ciccarelli
- Giorda C. (2000), *Cybergeografia. Estensione, rappresentazione e percezione dello spazio nell'epoca dell'informazione*, Torino, Tirrenia Stampatori, 2000.
- Lévy P. (1996), *L'intelligenza collettiva: per un antropologia del cyberspazio*, Feltrinelli, Milano
- Ong, W.J. (1986), *Oralità e scrittura*, Milano, il Mulino
- Turco A. (1988), *Verso una teoria geografica della complessità*, Unicopli, Milano
- Gottmann J. (1966), *Essais sur l'aménagement de l'espace habité*, Mouton, Paris

Una strategia di matching multi-immagine per la ricostruzione accurata di superfici e oggetti 3D

Mattia Previtali, Luigi Barazzetti, Marco Scaioni

Politecnico di Milano, Dip. di Scienza e Tecnologia dell'Ambiente Costruito, P.za Leonardo da Vinci 32, Milano
Laboratorio IC&T, sez. Rilevamento, www.icet-rilevamento.lecco.polimi.it
mattia.previtali@mail.polimi.it, [, <luigi.barazzetti, marco.scaioni>@polimi.it](mailto:<luigi.barazzetti, marco.scaioni>@polimi.it)

Riassunto

L'articolo descrive una procedura di correlazione multi-immagine per la ricostruzione automatica di superfici ed oggetti 3D mediante immagini digitali. Una ricostruzione approssimata della superficie dell'oggetto è dapprima creata con strategie di correlazione basate sull'estrazione di "patch". Successivamente, tale modello iniziale viene densificato con un algoritmo di *L.S. matching multi-immagine* (MGCM). Tale soluzione consente anche di migliorare la precisione e l'affidabilità dei punti ottenuti e di poter valutare statisticamente la consistenza della soluzione mediante una rigorosa propagazione della varianza. L'output della procedura proposta è una nuvola densa di punti in grado di rappresentare in dettaglio la superficie di un oggetto "free-form". Tale nuvola di punti viene quindi interpolata creando una superficie poligonale che potrà poi essere *texturizzata* ottenendo così un risultato foto-realistico.

Abstract

This paper describes a multi-image matching procedure for the automatic reconstruction of surfaces and 3D objects by using digital images. First, an approximate object surface is created by using matching strategies based on "patch" extraction. Then, this initial model is densified using a *L.S. multi-photo matching* (MGCM) algorithm. This solution allows to improve the precision and the reliability of the extracted points and gives the possibility of statistically evaluating the results' consistency through a rigorous variance propagation. The output of our proposed procedure is a dense point cloud describing "free-form" objects surface in an accurate way. The point cloud is then interpolated to obtain a mesh, which can be textured to obtain a photo-realistic result.

1. Introduzione

Negli ultimi anni un grande sforzo di ricerca è stato rivolto verso la ricostruzione automatica di superfici a partire da immagini digitali. Varie metodologie sono state sviluppate sia nel settore della fotogrammetria che in quello della Computer Vision (CV), ottenendo in quest'ultimo caso procedure in grado di gestire centinaia di immagini e fornire risultati eccellenti per la visualizzazione grafica (Furukawa *et al.*, 2010; Frahm *et al.*, 2010; Strecha *et al.*, 2010).

In ambito fotogrammetrico l'accuratezza metrica e l'affidabilità del prodotto rimangono gli interessi principali. L'uso di camere calibrate, l'acquisizione di immagini secondo un'opportuna geometria di presa e una rigorosa compensazione a stelle proiettive permettono di ottenere parametri di orientamento esterno accurati che consentiranno la ricostruzione dell'oggetto con tecniche di *matching multi-immagine*. L'orientamento di un blocco di immagini terrestri viene generalmente condotto in modalità manuale, anche se oggi giorno un interesse sempre maggiore è rivolto all'automazione con procedure che sfruttano la tessitura dell'oggetto stesso. Recentemente è stata anche rilasciata la nuova versione di PhotoModeler (dapprima chiamata 2010 e poi 2011), che può essere considerato il primo software commerciale, sviluppato per la fotogrammetria terrestre, in

grado di eseguire l'orientamento automatico di immagini senza *target* codificati. Alle stesso tempo, sono stati proposti differenti metodi sviluppati in ambito scientifico (ad esempio Barazzetti *et al.*, 2010; Del Pizzo & Troise, 2011; Deseilligny & Clery, 2011; Roncella *et al.*, 2011) sempre basati sull'estrazione di *feature* invarianti per scala, traslazione e rotazione.

Per quanto riguarda invece la fase di ricostruzione automatica della superficie, nel settore della fotogrammetria dei vicini sono da tempo disponibili alcune soluzioni commerciali (per es. ImageMaster, PhotoModeler Scanner e ShapeScan). Alcuni software derivano direttamente dalla fotogrammetria aerea (es. CLORAMA - Remondino *et al.*, 2008 o LPS eATE - www.erdas.com) e, di conseguenza, nella loro formulazione originaria permettono l'estrazione di un modello digitale della superficie (DSM). Tale rappresentazione 2.5D è adeguata per scopi cartografici ma ha dei limiti evidenti nella modellazione di oggetti tridimensionali.

Lo scopo del presente articolo è la descrizione di una metodologia di ricostruzione delle superfici che sia completamente 3D e che garantisca i requisiti di accuratezza e di analisi statistica dei risultati necessari per un rilievo fotogrammetrico. La metodologia sviluppata (Previtali *et al.*, 2011) si compone essenzialmente di due fasi: innanzitutto viene generato un modello approssimato della superficie dell'oggetto mediante l'algoritmo proposto da Furukawa *et al.* (2010); successivamente, tale modello viene raffinato e densificato con tecniche di *area-based matching* (Grün e Baltsavias, 1988; Baltsavias, 1991). L'impiego di una tecnica multi-immagine permette di ridurre al minimo il numero di errori grossolani e contemporaneamente offre risultati più precisi incrementando il numero di osservazioni. Nel corso del presente lavoro l'attenzione è stata posta verso oggetti "free-form", aventi cioè una geometria rappresentabile con l'interpolazione automatica di nuvole di punti. Non appartengono a questa categoria di oggetti tutti quelli per i quali è necessaria l'estrazione di features al fine di modellare correttamente l'oggetto (ad esempio una facciata architettonica).

2. La procedura di ricostruzione della superficie

Come evidenziato nello schema di Figura 1, è necessario disposizione disporre di un blocco di immagini adeguato, sia in termini di geometria di presa delle immagini che di risoluzione delle stesse.

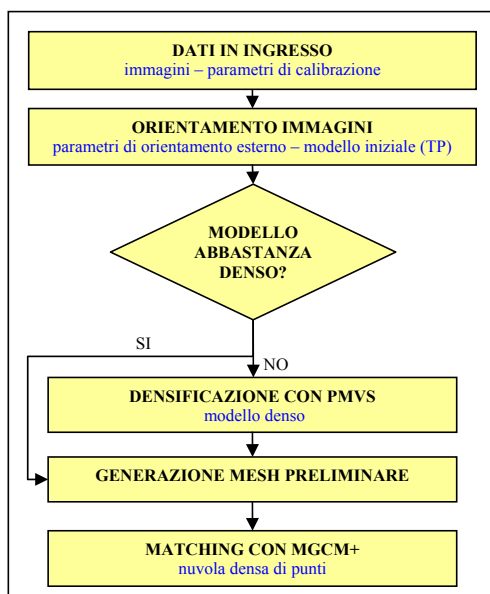


Figura 1 – Schema della procedura di ricostruzione sviluppata.

In particolare, al fine di ottenere un modello finale sufficientemente dettagliato, è bene che ogni porzione dell'oggetto sia visibile in almeno 3-4 immagini in modo da sfruttare le potenzialità del matching multi-immagine. E' inoltre necessario disporre dei parametri di orientamento esterno delle immagini, a cui viene rimossa la distorsione indotta dall'obiettivo tramite un preliminare progetto di calibrazione della camera. Come già detto, l'orientamento può essere eseguito sia in modalità manuale sia mediante algoritmi di orientamento automatico, anche se ai fini del presente lavoro la seconda procedura ha il vantaggio di fornire molti più punti di legame, che formano quindi una nuvola 3D utilizzabile per la generazione di un modello iniziale della superficie. Nel caso invece si preferisca un orientamento in modalità manuale (oppure se i punti di legame ricavati con gli algoritmi automatici non ricoprono in modo sufficientemente denso l'oggetto) il modello iniziale della superficie viene ricavato mediante l'algoritmo proposto da Furukawa & Ponce (2010). Il principale vantaggio di questa metodologia è la sua capacità di operare direttamente in 3D senza richiedere un modello approssimato. La conversione dei parametri di orientamento esterno fotogrammetrici nel formato tipico utilizzato in CV è descritta in Barazzetti (2010).

La mesh di triangoli così ottenuta viene quindi utilizzata come modello in input per l'algoritmo MGCM. Questo combina (i) il *Least Squares matching* (LSM) tradizionale (Grün, 1985) basato sull'intensità dei toni di grigio e (ii) le equazioni di collinearità usate come vincolo geometrico per la determinazione delle coordinate oggetto di ciascun punto della nuvola. Il LSM classico tiene in considerazione la deformazione geometrica esistente tra un'immagine "master" di riferimento e le immagini di servizio dette "slave" (Baltasavias, 1991). L'introduzione delle equazioni di collinearità e la possibilità di eseguire il *matching* simultaneamente tra diverse immagini consente di ridurre in modo significativo il numero di valori anomali e di aumentare l'affidabilità interna delle corrispondenze tra i punti omologhi sulle varie immagini. L'MGCM presenta alcuni vantaggi rispetto ad altri algoritmi di correlazione di immagine solitamente utilizzati in fotogrammetria. Rispetto al LSM tradizionale, in cui è possibile correlare le sole coppie di immagini, l'MGCM consente di sfruttare la ridondanza offerta dall'impiego di più immagini simultaneamente. Pertanto i problemi di ambiguità legati a tessiture ripetitive possono essere più facilmente risolti, rendendo così la soluzione più affidabile. In ogni caso, anche l'MGCM (nella sua formulazione originaria) presenta dei punti deboli, ovvero (i) la necessità di avere a disposizione valori approssimati per quanto riguarda le coordinate oggetto del punto considerato, le posizioni dei rispettivi punti omologhi nelle varie immagini e i parametri delle trasformazioni geometriche implementate (affini); (ii) la scelta delle immagini tra le quali eseguire la correlazione.

3. L'algoritmo proposto: MGCM+

Come evidenziato nel precedente paragrafo, l'algoritmo MGCM ha alcuni limiti che in questo lavoro si è cercato di risolvere: la generazione di valori approssimati dei parametri e la scelta delle immagini tra cui eseguire il matching. La soluzione sviluppata ha portato all'implementazione di un algoritmo chiamato MGCM+.

3.1 La generazione dei parametri approssimati

Un aspetto da tenere in considerazione riguarda la necessità di una serie di valori approssimati per la posizione dei punti oggetto e le corrispondenti posizioni approssimate nelle varie immagini. Nella metodologia sviluppata la gestione di questo punto critico avviene mediante l'impiego di un modello preliminare dell'oggetto costituito da una *mesh* poligonale generata a partire dall'interpolazione delle coordinate 3D dei punti di legame (se sufficientemente fitti), oppure della serie di punti orientati (*patch*) estratti dal software PMVS. Siccome l'algoritmo deve poi essere utilizzato per la ricostruzione di oggetti 3D, una triangolarizzazione 2.5D (ad esempio quella di Delaunay) non è sufficiente. Si è quindi fatto ricorso all'algoritmo, basato sull'interpolazione con il metodo di Poisson, proposto da Kazhdan *et al.* (2006). Sulla *mesh* così ottenuta vengono quindi identificati una serie di punti, la cui distanza corrisponde al passo di ricostruzione che si vuole ottenere nella nuvola finale. Tali punti rappresentano delle posizioni approssimate per la nuvola 3D

finale. Riproiettando quindi i punti sulle varie immagini a disposizione (per mezzo delle equazioni di collinearità), è possibile estrarre anche i valori approssimati per la posizione dei rispettivi punti omologhi sulle varie immagini da utilizzare.

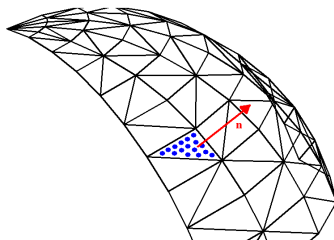


Figura 2 – Posizione approssimata dei punti sulla mesh ottenuta suddividendo i triangoli del modello approssimato.

3.2 Scelta delle immagini da correlare

L'altro punto estremamente critico dell'algoritmo MGCM è costituito dalla scelta delle immagini tra le quali calcolare la correlazione, ovvero la distinzione tra l'immagine "master" e le immagini "slave". Poiché nella maggior parte dei casi l'implementazione di MGCM riguarda le applicazioni aeree, il problema potrebbe essere risolto semplicemente selezionando manualmente come immagine "master" quella centrale all'interno della sequenza e considerando come immagini "slave" le altre. Tale approccio è valido nel caso di immagini con assetto normale, in cui la superficie da misurare può essere considerata come un modello 2.5D. Nelle applicazioni terrestri questa soluzione non può essere considerata come percorribile, almeno per un paio di ragioni:

- (i) in un blocco terrestre che riprende un oggetto a 360° non è possibile definire una immagine centrale della sequenza;
- (ii) a causa delle occlusioni esistenti non ha senso utilizzare tutte le immagini a disposizione per la correlazione: operando in tale modo si rischierebbe di incrementare il costo computazionale e di incorrere in errori grossolani.

Per queste ragioni è necessario operare una selezione tra le immagini, partendo dal problema associato alla definizione dell'immagine "master". Per ogni posizione approssimata sulla *mesh* è possibile definirne la normale ed utilizzare come immagine di riferimento quella che presenta l'asse ottico più prossimo alla normale del punto sulla *mesh* (Fig. 3). Tale definizione di immagine "master" varia quindi da triangolo a triangolo ed è in grado di adattarsi alla forma dell'oggetto e di seguirne i cambiamenti.

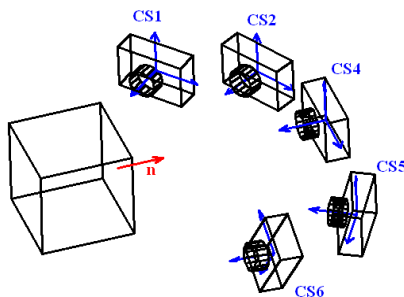


Figura 3 – Scelta dell'immagine master mediante la stima delle normali alla superficie: in questo caso verrà utilizzata l'immagine CS4 per la ricostruzione della faccia.

Il secondo problema riguarda la selezione delle immagini di servizio. Un'ottimizzazione della scelta è necessaria e diviene evidente se si considera il caso di un blocco di immagini riprese attorno ad un oggetto come quello rappresentato in Figura 4. In una situazione di questo tipo, nel caso in cui si stia considerando come “master” l'immagine CS1, non ha evidentemente senso considerare l'immagine CS13 come “slave” a causa delle auto-occlusioni generate dall'oggetto. Solo un numero ridotto di immagini dovrà essere utilizzato in questo caso, ad esempio le immagini CS2-CS3-CS4 in quanto riprendono la stessa porzione di oggetto.

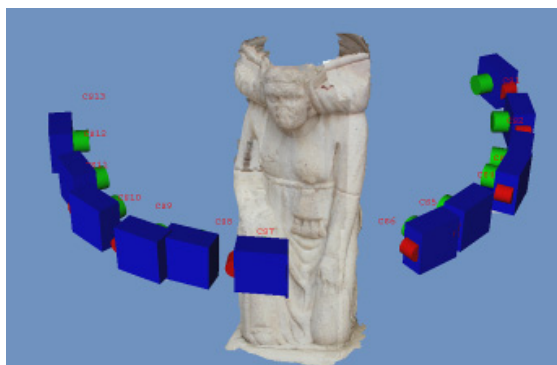


Figura 4 – Geometria di acquisizione delle immagini di un oggetto tridimensionale.

Tale ottimizzazione viene nuovamente operata mediante l'adozione del modello approssimato. Vengono infatti considerate come potenziali “slave” solo le immagini per cui l'angolo formato tra la normale della posizione approssimata e la normale al piano immagine sia inferiore a 90° . Per angoli superiori le immagini risultano essere occluse e non vengono considerate come potenziali “slave” (Fig. 5).

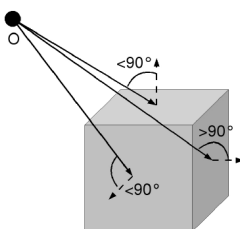


Figura 5 – Principio di selezione delle immagini slaves.

Anche tra le “slave” così individuate viene poi eseguita una selezione ulteriore. Infatti, in molti casi le deformazioni prospettiche possono essere molto consistenti da diventare un serio problema per il LSM tradizionale, che è basato su una trasformazione affine. Per questa ragione, tra le potenziali “slaves” vengono selezionate e successivamente elaborate solo quelle per cui le ipotesi del LSM possano essere considerate come effettivamente valide. In particolare, per ciascuna posizione approssimata viene considerata la deformazione geometrica del triangolo della *mesh* a cui il punto appartiene sulle potenziali “slave”. Tale triangolo viene proiettato sia sull'immagine “master” sia sulle potenziali “slave” e vengono poi valutati due parametri di forma:

1. l'area dei triangoli così formati;
2. le variazioni degli angoli delle *mesh* triangolari.

In particolare se l'area di un triangolo su una potenziale "slave" è inferiore al 50% all'area del rispettivo triangolo sull'immagine "master", si ritiene che le deformazioni sulla "slave" dovute a deformazioni prospettiche o a variazioni di scala siano eccessive per la corretta applicazione del LSM. In alcuni casi, importanti variazioni prospettiche possono lasciare sostanzialmente invariata l'area dei triangoli proiettati sulle immagini e per questa ragione vengono tenute in considerazione anche le deformazioni angolari dei triangoli: se (per angoli omologhi) le variazioni angolari superano il 40% l'immagine viene rigettata.

3. Sperimentazione della metodologia sviluppata

La procedura sviluppata è stata sperimentata su alcuni blocchi di immagini. Tutti i blocchi sono costituiti da immagini ad alta risoluzione (almeno 10 Mpixel), che sono state elaborate impiegando la risoluzione originale. L'orientamento esterno è stato eseguito in modalità automatica mediante il software ATiPE (Barazzetti *et al.*, 2010) che permette di estrarre una serie di punti omologhi che sono stati successivamente utilizzati come punti di legame per la compensazione a stelle proiettive del blocco. Una descrizione dei blocchi è riportata nella Tabella 1, dove sono anche indicate le caratteristiche dei sensori impiegati. In particolare, oltre alle camere professionali sono state utilizzate anche camere "compatte" dai costi più contenuti.

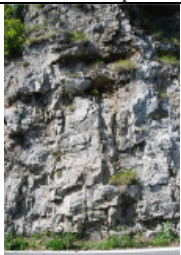
Blocco 1	Blocco 2	Blocco 3	Blocco 4
Samsung ST45 6.3 mm 5 immagini 4000×3000 pixel	Olympus FE46 6.3 mm 13 immagini 3968×2976 pixel	Olympus FE46 6.3 mm 15 immagini 3968×2976 pixel	Nikon D80 20 mm 18 immagini 3872×2592 pixel
			

Tabella 1 – Blocchi di immagini utilizzati per testare la procedura sviluppata.

Il primo blocco riguarda un bassorilievo di larghezza 90 cm situato nel Foro Romano a Roma. Per questo oggetto potrebbe anche essere sufficiente una modellazione di tipo 2.5D, basata su un DSM dell'oggetto anziché una *mesh* di triangoli (Fig. 6a). La nuvola di punti ottenuta da 5 immagini convergenti è costituita da circa 500.000 punti. Al termine dell'elaborazione, nella nuvola di punti non sono stati evidenziati evidenti errori grossolani grazie alla robustezza dell'algoritmo MGCM+. Infine, l'interpolazione della nuvola ha fornito una *mesh* di triangoli (Fig. 6b) e un modello fotorealistico (Fig. 6c). Per questo esempio è stato eseguito un confronto con i risultati ottenuti da un *software* commerciale (Leica Photogrammetry Suite LPS – eATE) in grado di estrarre nuvole di punti. Questo software è stato sviluppato per applicazioni cartografiche mediante fotogrammetria aerea ed è basato sull'algoritmo *semi-global matching* (Hirschmüller, 2008). Entrambe le *mesh* sono state allineate usando l'algoritmo di co-registrazione ICP implementato in Geomagic Studio. L'intervallo della barra d'errore è ± 13 mm, mentre lo s.q.m. delle differenze è risultato ± 0.7 mm (Fig. 6d).

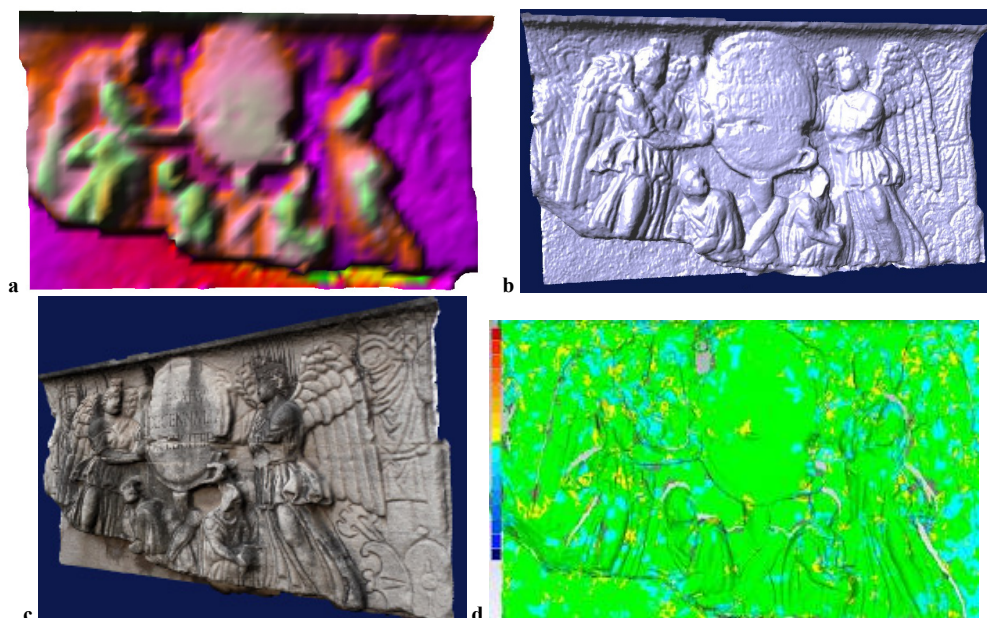


Figura 6 – Blocco 1. DTM approssimato (a), mesh finale (b), modello texturizzato (c) e grafico delle differenze (d).

I blocchi 2 e 3 riguardano due piccole sculture poste ai lati dell'entrata della chiesa di Santa Maria Maggiore (Bergamo). Le immagini sono state riprese attorno a ciascuna delle due statue, determinando quindi immagini caratterizzate da forti occlusioni imputabili alla geometria dell'oggetto stesso. La ricostruzione di tali oggetti nella loro complessità non può quindi che procedere attraverso una procedura completamente 3D come quella sviluppata. In questo caso, come modelli approssimati, sono state utilizzate alcune *mesh* ottenute dall'interpolazione di una serie di *patch* generate con PMVS (Fig. 7a-7d). Le due nuvole di punti sono costituite per il blocco 1 da circa 1M di punti e per il blocco 2 da circa 1.2M di punti. Per ciascuna statua è stata ricavata una *mesh* (Fig. 7b-7e) e un modello finale *texturizzato* (Fig. 7c-7f).

Una particolare attenzione è stata posta in questo caso al problema del *texture-mapping*. Per evitare che la tessitura venisse applicata anche a porzioni dell'oggetto occluse, è stata implementata una analisi di *visibilità* che consente di definire, per ciascuna immagine, solo i triangoli effettivamente visibili. Tale analisi viene condotta analizzando la normale al piano dell'immagine e la normale di ogni triangolo della *mesh*: se l'angolo formato tra le due normali è superiore a 90° , il triangolo viene considerato come occluso. Di seguito in Figura 8 sono riportati i risultati dell'analisi di visibilità.



Figura 7 – Blocchi 2 (in alto) e 3 (in basso): modello approssimato (a-b), mesh finale (c-d), modello texturizzato (e-f).



Figura 8 – Analisi di visibilità per il blocco 3. Vista dalla posizione della camera (a), vista laterale (b).

L'ultimo blocco (4) riguarda un'applicazione geotecnica. Lungo la strada provinciale 65 nel comune di Esino Lario (LC) una parete rocciosa è stata sottoposta ad un monitoraggio in diverse epoche per monitorarne la stabilità e prevenire potenziali rischi per la circolazione stradale. Per questa tipologia di applicazioni l'accuratezza metrica del modello è di primaria importanza. Inoltre, al fine di eseguire delle comparazioni tra le diverse acquisizioni, le immagini devono essere co-registrate tra le varie epoche facendo ricorso ad una serie di punti di controllo incorporati all'interno

della compensazione del blocco. In particolare, per l'epoca iniziale sono state acquisite 22 immagini ottenendo una nuvola di punti costituita da circa 3Mdi punti (Fig. 9a-9b). Il confronto tra la nuvola di punti così ottenuta e quella ricavata con un rilievo laser scanning terrestre, a seguito della rimozione degli elementi di disturbo come la vegetazione, ha rilevato una discrepanza di circa ± 5 mm, pari cioè alla precisione nominale del laser scanner utilizzato (Riegl LMS-Z420i).

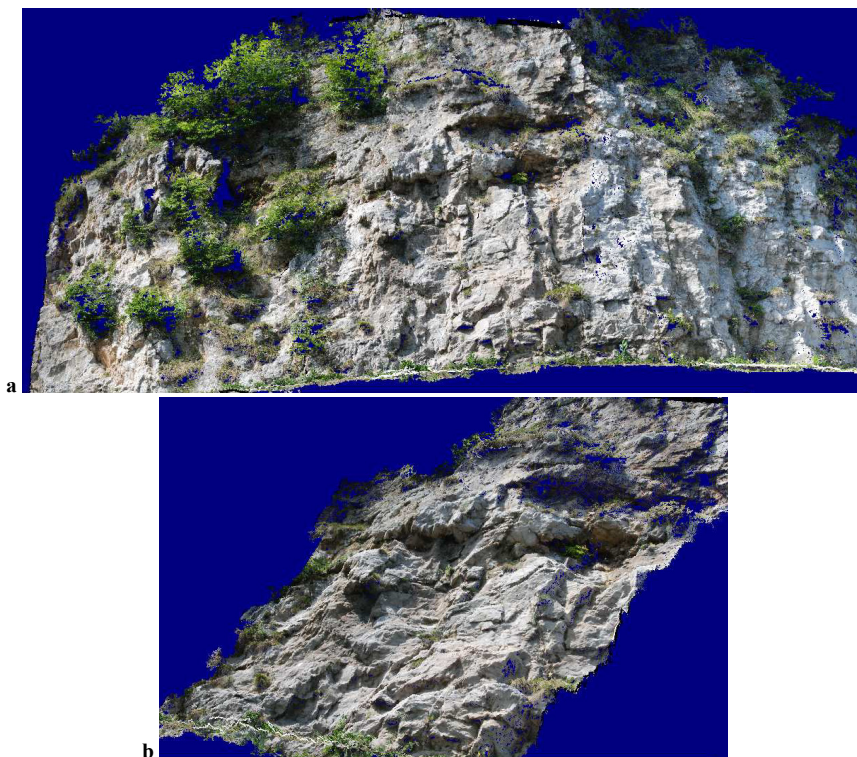


Figura 9 – Blocco 4: nuvola di punti texturizzata della parete in roccia.

4. Conclusioni

Nel presente articolo è stata presentata una procedura per la ricostruzione automatica di oggetti e superfici in fotogrammetria dei vicini con una tecnica di correlazione multi-immagine (MGCM+). Lo scopo del presente lavoro è stato quello di realizzare un algoritmo in grado di ricostruire oggetti “free-form” a partire da immagini ad alta risoluzione riprese aventi caratteristiche adeguate per quanto riguarda la geometria di presa e la copertura dei fotogrammi. Il risultato finale è una procedura completamente automatica, a partire dall'orientamento delle immagini fino alla generazione di una nuvola densa di punti e alla sua interpolazione.

Un aspetto importante di questo lavoro è la combinazione di alcune tecniche sviluppate nell'ambito della *computer vision* con altre nate in quello fotogrammetrico, riguardanti sia la fase di orientamento delle immagini sia la ricostruzione densa del modello finale.

Bibliografia

- Baltsavias, E.P., 1991. Multiphoto Geometrically Constrained Matching. Ph. D. thesis, Inst. of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zurich, Switzerland, Mitteilungen No. 49, 221 pp.
- Barazzetti, L., 2010. A trip to Rome: physical replicas of historical objects created in a fully automated way from photos. *Proc. of HCIToch. Lecture Notes in Computer Science*, 6529: 63-72 (2011).
- Barazzetti L., Remondino, F. and Scaioni M., 2010. Extraction of accurate tie points for automated pose estimation of close-range blocks. *ISPRS Technical Commission III Symposium on Photogrammetric Computer Vision and Image Analysis*, 6 pp.
- Del Pizzo, S., Troisi, S. (2011). Automatic orientation of image sequences in cultural heritage. *IAPRS&SIS*, 38(5/W16), on CD-ROM.
- Frahm, J. et al. 2010. Building Rome on a cloudless day. In: *Proc. of ECCV 2010*, 14 pp.
- Furukawa, Y. and Ponce, J., 2010. Accurate, dense, and robust multi-view stereopsis. *IEEE Trans. PAMI*, 32(8): 1362-1376.
- Furukawa, Y., Curless, B., Seitz, S.M. and Szeliski, R., 2010. Towards Internet-scale Multi-view Stereo. *Proc. of IEEE Conf. CVPR'10*, 8 pp.
- Hirschmüller, H., 2008. Stereo processing by Semi-Global Matching and Mutual Information. *IEEE Trans. PAMI*, 30(2): 328-341.
- Grün, A., 1985. Adaptive least square correlation – a powerful image matching technique. *S. Afr. J. of. Photogrammetry, Remote Sensing and Cartography*, 14(3), pp 175-187.
- Grün, A. and Baltsavias, E.P. 1988. Geometrically Constrained Multiphoto Matching. *PE&RS*, 54(5), pp. 663-671.
- Kazhdan, M., Bolitho, M. and Hoppe, H., 2006. Poisson surface reconstruction, *Proceedings of the fourth Eurographics symposium on Geometry processing 2006*, Eurographics Association, pp. 61-70.
- Previtali, M., Barazzetti, L., Scaioni, M., 2011. Multi-step and multi-photo matching for accurate 3D reconstruction. *Photogrammetric Image Analysis*, 5-7 October, Munich, 6 pp.
- Remondino, F., El-Hakim, S.F., Grün, A. and Zhang, L., 2008. Turning images into 3-D models - development and performance analysis of image matching for detailed surface reconstruction of heritage objects. *IEEE Signal Processing Magazine*, 25(4), pp. 55-65.
- Pierrot Deseilligny, M., Clery, I., 2011. Apero, an open source bundle adjustment software for automatic calibration and orientation of set of images. *IAPRS&SIS*, 38(5/W16), on CD-ROM.
- Roncella, R., Re, C. and Forlani, G., 2011. Performance evaluation of a structure and motion strategy in architecture and cultural heritage. *IAPRS&SIS*, 38(5/W16), on CD-ROM.
- Strecha, C., Pylvanainen, T. and Fua, P., 2010. Dynamic and Scalable Large Scale Image Reconstruction. *Proc. of CVPR'10*, 8 pp.

Sinergia tra sistemi informativi territoriali e registro tumori: la georeferenziazione dei dati del Registro Tumori di Trapani

Ing. A. Putaggio (*), Dott.ssa G. Candela (**), Geom. S. Pirrello (*),
T. Scuderi (**), M. Ribaudò (**), B. Lottero (**)

(*) Provincia Regionale di Trapani, Via Osorio 22, 91100 Trapani
Tel. 0923/806568, Fax 0923/806511, e.mail: aputaggio@provincia.trapani.it
(**) Registro Tumori ASP Trapani, ASL9, Cittadella della Salute, Viale della Provincia
91016 Erice (TP), Tel. 0923/472268, Fax 0923/472267, e.mail: candelag@inwind.it

Riassunto

Il presente studio nasce da un protocollo d'intesa tra la Provincia Regionale di Trapani ed il Registro Tumori dell'ASP di Trapani ed ha previsto la georeferenziazione dei dati oncologici in ambito provinciale, al fine di rappresentare il fenomeno tumorale in modo più conveniente e comprensibile ad una larga maggioranza di utenti.

La Provincia ha provveduto alla georeferenziazione in ambiente *ArcGIS® 10* dei singoli casi di tumori incidenti nel territorio per il periodo 2002-2004 (5376 record con le variabili: Id caso; sesso; data incidenza; topografia; indirizzo di residenza).

I dati sono stati "normalizzati" al fine di potere identificare l'indirizzo, precedentemente verificato, con una codifica che consenta di correlare questa informazione con altre banche dati proprie o di terzi. Si è proceduto quindi con il *Geocoding*, trasformando in coordinate geografiche gli indirizzi, aggiungendo come campo chiave l'ID del caso. Sono stati quindi ottenuti i file .kml prima e successivamente gli *shapefile*. I punti ottenuti sono stati distribuiti nelle sezioni di censimento dei Comuni con procedure di "*Spatial Join*" utilizzando il *Model Builder®* di *ArcGis® 10*.

I dati raccolti hanno consentito di individuare la procedura per la georeferenziazione dei singoli casi; i risultati ottenuti sono ancora in fase di corretta valutazione e interpretazione e dovranno essere integrati con i dati dal 2005 in poi.

Per alcune sedi tumorali, sembrerebbe esserci una localizzazione preferenziale per le aree periferiche di alcuni comuni, così come l'analisi di *clustering* mostrerebbe, in prima battuta, qualche risultato meritevole di approfondimento. Al momento, comunque, non ci sono conclusioni certe.

I dati, essendo rapportati direttamente al territorio per singola sezione di censimento, superano la distribuzione per comune e potranno essere alla base di studi per verificare, in presenza di *cluster*, l'eventuale correlazione con eziologie ambientali, familiari ecc., o con, ad esempio, rilevazioni puntuali di inquinanti, trattamento delle acque, presenza di campi elettromagnetici ad alta frequenza, qualità dell'aria, elettrodotti, ecc.

Abstract

This study, which was established by an agreement protocol between the Province of Trapani and ASP's Cancer Registry of Trapani, has provided the georeference cancer data within the Province, in order to explain cancer phenomenon to a large majority of users in a more convenient and comprehensible way.

The Province of Trapani has provided the georeference data in ArcGIS® 10 for every single tumor case within the territory for the period 2002-2004 (5376 records with the following variables: ID case; sex; date; topography; residential address).

Data were “normalized” in order to be able to identify the address with an encoding that allows to correlate this information with that included in other databases. Then, using Geocoding, addresses were converted to geographical coordinates, using the ID case as a keyword. Files “.kml” were obtained followed by the shapefiles. The collected data were distributed in the census section of the various municipalities with “Spatial Join” procedures using ArcGis® 10's Model Builder®.

The collected data were useful to identify the procedure for georeferencing every single case. The obtained results are still in under evaluation and should be integrated with data from the year 2005 onwards.

It appears that some cancer sites are preferentially located in peripheral areas of some municipalities. Preliminary results from clustering analysis seem to show interesting results worth to investigate in more detail. At the moment, however, we cannot make final conclusions.

Data are directly reported for each census area, than are distributed in municipalities and will be used for studies to verify, in the presence of clustering, possible correlations with environmental etiologies, familiar etiologies, etc., or, for example, with pollutants measurements, water treatment, presence of high frequency electromagnetic fields, air quality, power lines, etc.

Premesse

I Registri tumori sono strutture impegnate nella raccolta di informazioni sui malati di cancro residenti in un determinato territorio, informazioni necessarie considerato che, allo stato attuale, in nessuna struttura ospedaliera italiana, pubblica o privata, c'è l'obbligo di archiviare i dati relativi alla diagnosi e alla cura dei tumori.

Le informazioni raccolte includono, tra l'altro, il tipo di cancro diagnosticato, il nome, l'indirizzo, l'età e il sesso del malato, ecc..

I Registri tumori raccolgono informazioni dalle aziende ospedaliere, dai medici di famiglia, dalle Regioni o dalle loro Agenzie sanitarie.

Le fonti principali utilizzate per la raccolta delle informazioni sono le seguenti:

- Schede di Dimissione Ospedaliera (Sdo)
Raccolgono in sintesi le informazioni principali su ciascun ricovero di un paziente.
- Archivi di anatomia e citologia patologica; Referti di radioterapia, radiologia e di laboratorio
Questi archivi garantiscono il più alto livello di precisione della diagnostica del singolo caso secondo regole codificate a livello internazionale.
- Cartelle cliniche
Le cartelle cliniche hanno un ruolo di precisazione e integrazione delle informazioni sui casi che spesso la gestione automatica non riesce a garantire.
- Certificati di morte
Rappresentano storicamente una delle fonti principali della registrazione dei tumori.
- Pratiche amministrative
Esenzioni ticket, anagrafe assistibili, prescrizioni farmaceutiche.

In Italia, come in altri Paesi del Sud Europa, i Registri tumori non sono nati per iniziativa di organismi nazionali né a seguito di precisi criteri programmatori, più frequentemente hanno avuto origine dalla spontanea motivazione scientifica di singoli clinici, patologi, epidemiologi e medici della sanità pubblica.

Il carattere volontaristico di tali iniziative ha fatto sì che i Registri tumori assumessero dimensioni medio-piccole. Solo recentemente sono state programmate azioni di incentivazione da soggetti pubblici (CCM, Regioni, ecc.) per arrivare all'obiettivo di coprire con le attività di registrazione l'intero territorio nazionale.

Il Registro Tumori della Provincia di Trapani è stato istituito il 19.02.2003 presso l'ASL9 di Trapani nel Dipartimento di Prevenzione, Area Igiene e Sanità Pubblica ed è accreditato AIRTUM dall'Aprile 2008.

La georeferenziazione dei dati

La georeferenziazione dei database fornisce la possibilità di studi approfonditi ed analisi mirate, grazie al ricorso ai sistemi informativi geografici.

Come esempio si può citare il caso di studi di “*public health*” dove dati di registro relativi ad una particolare patologia possono essere associati, pur garantendo il necessario requisito dell’anonimità, a dati di fonte amministrativa (per esempio di anagrafe) per ottenere informazioni demografiche sugli individui coinvolti nello studio ed a dati di rilevanza ambientale (quali, ad esempio, rilevazioni puntuali di inquinanti, informazioni sull’uso del territorio, presenza di sostanze nocive legate al decadimento delle sostanze utilizzate nel trattamento delle acque, ecc.).

La georeferenziazione dei fenomeni oncologici consentirà, nel tempo, una lettura comprensibile dei risultati da una larga parte degli utenti utilizzando, a tale scopo, una rappresentazione semplice delle casistiche tumorali presenti nel territorio della Provincia di Trapani.

I sistemi GIS consentono il monitoraggio e la visione territoriale d’insieme, permettendo, tra l’altro: l’acquisizione e la registrazione dei dati in modo georeferenziato; l’analisi qualitativa e statistica dei dati in modo spaziale; l’elaborazione automatizzata dei dati per ottenere informazioni utili.

Obiettivi

La presenza del Registro Tumori nella provincia di Trapani e la comunicazione dei risultati della registrazione, ad oggi non riesce a vincere la resistenza o le convinzioni che il territorio provinciale sia caratterizzato da un’alta incidenza di tumori.

Questa percezione, che ha determinato a suo tempo la nascita del Registro, è stata alla base dell’istituzione di un protocollo d’intesa tra Provincia Regionale di Trapani e Registro Tumori dell’ASP che prevede la georeferenziazione dei dati oncologici nell’ambito dell’intera provincia, con l’obiettivo di rappresentare il fenomeno tumorale in modo conveniente e comprensibile da una larga maggioranza di utenti, appartenenti ad estrazioni culturali diverse. Nello stesso tempo la georeferenziazione di tale dato può essere alla base di studi volti a verificare, in presenza di cluster, l’eventuale correlazione con eziologie ambientali, familiari ecc., e di interventi specifici sul territorio da parte di enti locali e sanitari.

Materiali e metodi

Il registro tumori ha fornito i dati relativi ai casi di tumori incidenti nel territorio della provincia dal 2002 al 2004. Il database fornito in formato *Microsoft Office Access*® costituito da 5376 record (sono stati esclusi i tumori cutanei non melanomi) presenta le seguenti variabili: Id caso; sesso; data incidenza del tumore; topografia; indirizzo di residenza.

La Provincia Regionale ha provveduto alla georeferenziazione dei singoli casi partendo dal file di *Microsoft Office Access*®, ricavando un file in formato .dbf (dbase) successivamente importato in ambiente *ArcGIS*® Desktop (licenza *ArcEditor*® - software integrato della ESRI® che include tutti gli strumenti necessari per poter sfruttare al meglio un GIS).

Una prima operazione ha consentito di verificare la correttezza dell’indirizzo (verificando che il civico, la via, il comune, ecc. siano stati introdotti correttamente), successivamente tutti i dati sono stati “normalizzati” al fine di potere identificare l’indirizzo con una codifica che consenta di correlare questa informazione con altre banche dati proprie o di terzi. La normalizzazione dei dati è un pre-requisito fondamentale per potere efficacemente correlare i dati alfanumerici sul territorio, al fine di potere realizzare sistemi territoriali ricchi di contenuti informativi.

Si è proceduto quindi con il *Geocoding*, trasformando in coordinate geografiche (Latitudine e Longitudine), gli indirizzi del tipo “Via, Numero Civico, Città” aggiungendo come campo chiave **l’ID del caso**. Sono stati quindi ottenuti i file .kml (*Keyhole Markup Language: formato file di in Google Earth*) utilizzando il servizio di conversione che si può trovare su **GPSVisualizer.com** (<http://www.gpsvisualizer.com/geocoder/>).

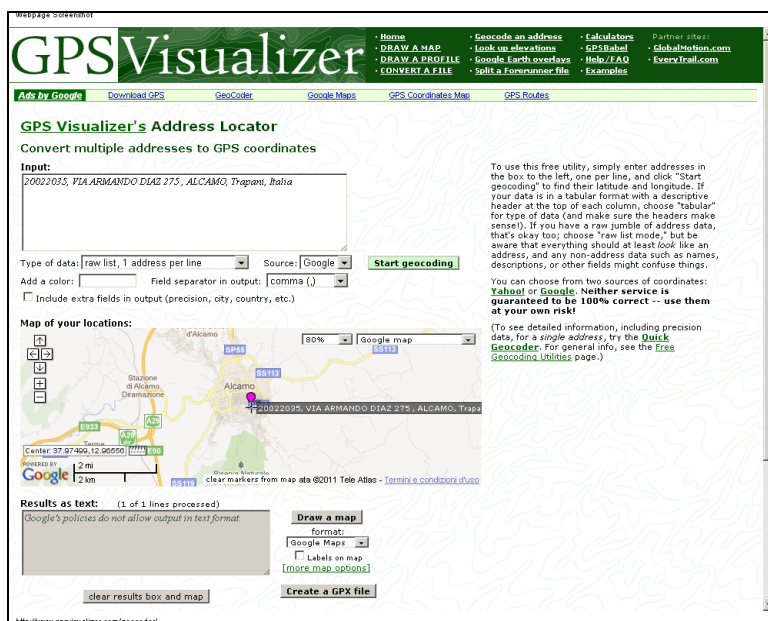


Figura 1 – Utilizzo GPS Visualizer.

I file così ottenuti sono stati quindi trasformati nei formati ESRI® *Shapefile* (*.shp) utilizzando il programma **DNR Garmin**® (oppure in alternativa il tool di conversione di **FWTools**) e successivamente razionalizzati con procedure di **Model Builder**® di **ArcGIS**® 10. Utilizzando il **Model Builder**® i dati provenienti dai singoli comuni vengono unificati in un unico *shapefile* per l'intera Provincia di Trapani (comando *Merge*).

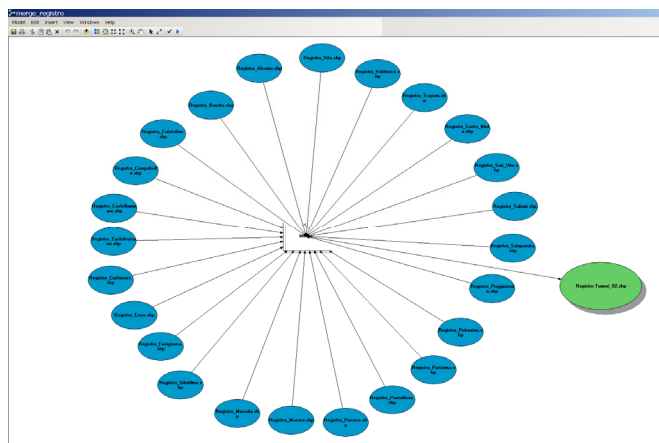


Figura 2 – Utilizzo del Model Builder di ArcGIS® 10.

Ai punti così ottenuti utilizzando come campo chiave l'ID del caso sono state aggiunte, effettuando un *Join* con la tabella iniziale, tutte le informazioni relative ai singoli casi; gli stessi punti, successivamente sono stati distribuiti nelle sezioni di censimento dei Comuni utilizzando il comando "*Spatial Join*".

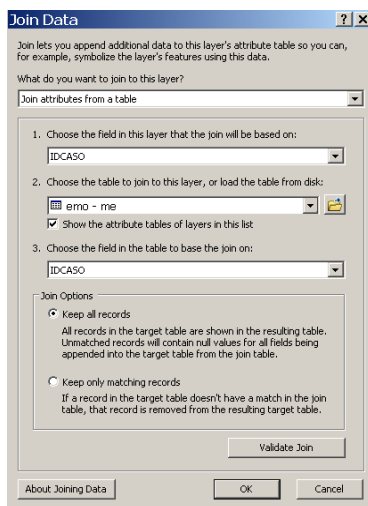


Figura 3 – Join in ArcGIS® 10.

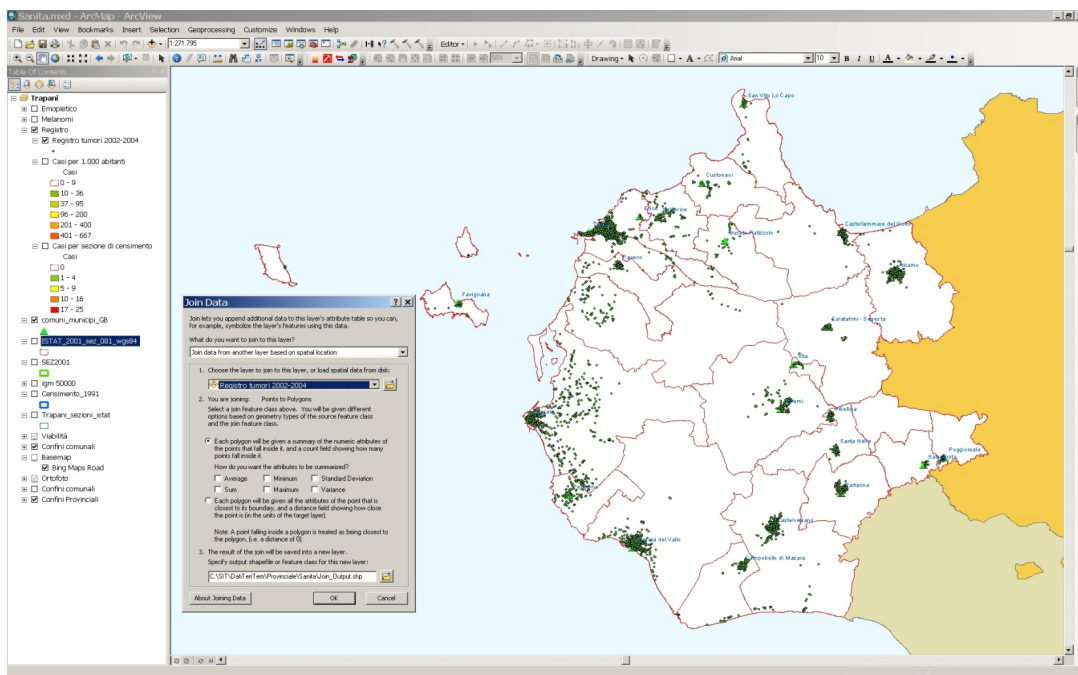


Figura 4 – Join Spaziale.

Risultati

I risultati ottenuti sono ancora in fase di corretta valutazione e interpretazione. Per alcune sedi tumorali, in particolare per il siemopoietico sembrerebbe esserci una localizzazione preferenziale per le aree periferiche di alcuni comuni, così come l'analisi di clustering mostrerebbe in prima

battuta qualche risultato meritevole di approfondimento. Al momento non ci sentiamo però in grado di arrivare a conclusioni certe.

La georeferenziazione del database del Registro Tumori continuerà anche per altri anni di incidenza. Questo momento, nato come fase sperimentale, ha aperto le porte ad ulteriori esperienze con le quali il registro si vuole misurare. I dati infatti, essendo rapportati direttamente al territorio per singola sezione di censimento o frazione di essa, superano la distribuzione per comune e potranno essere alla base di studi (quali, ad esempio, rilevazioni puntuali di inquinanti, informazioni sull'uso del territorio, presenza di sostanze nocive legate al decadimento delle sostanze utilizzate nel trattamento delle acque, presenza di campi elettromagnetici ad alta frequenza, qualità dell'aria; presenza di discariche, elettrodotti, ecc) consolidando il ruolo del Registro di Trapani quale strumento di Sanità pubblica e "*propugnaculum ad urbis tutelam*"

La georeferenziazione del data-base "Registro Tumori di Trapani" rappresenta un esempio di collaborazione virtuosa tra Enti pubblici, volta a migliorare da un lato la conoscenza dei fenomeni e dall'altro la pianificazione di eventuali interventi.

I risultati dello studio saranno distribuiti anche su piattaforme software comuni (Google Earth) per eventuali approfondimenti e per la pubblicazione anche su internet.

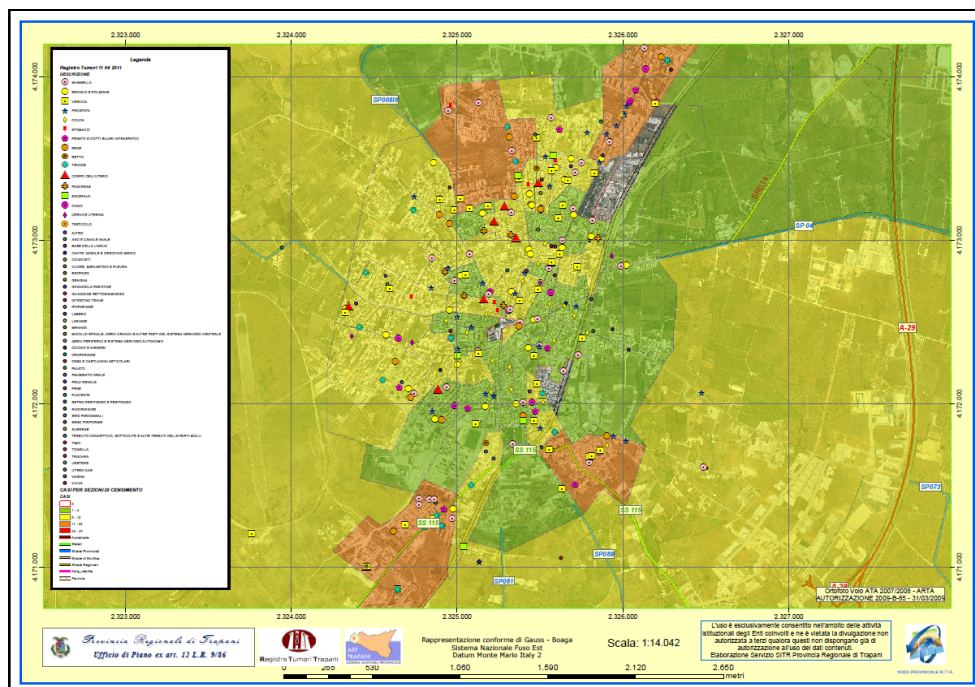


Figura 5 – Distribuzione dei casi sul territorio comunale per sezioni di censimento.

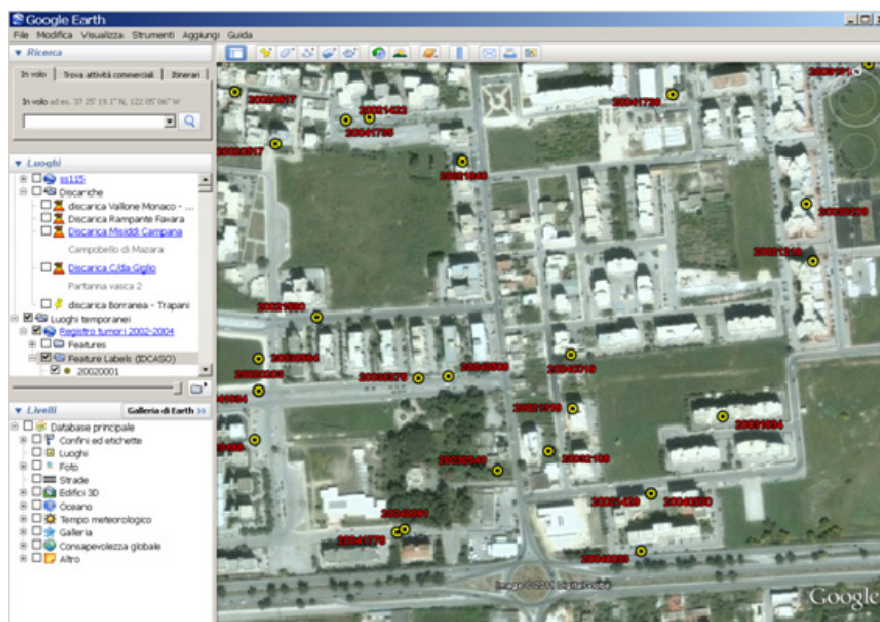


Figura 6 – Visualizzazione dei dati con Google Earth.

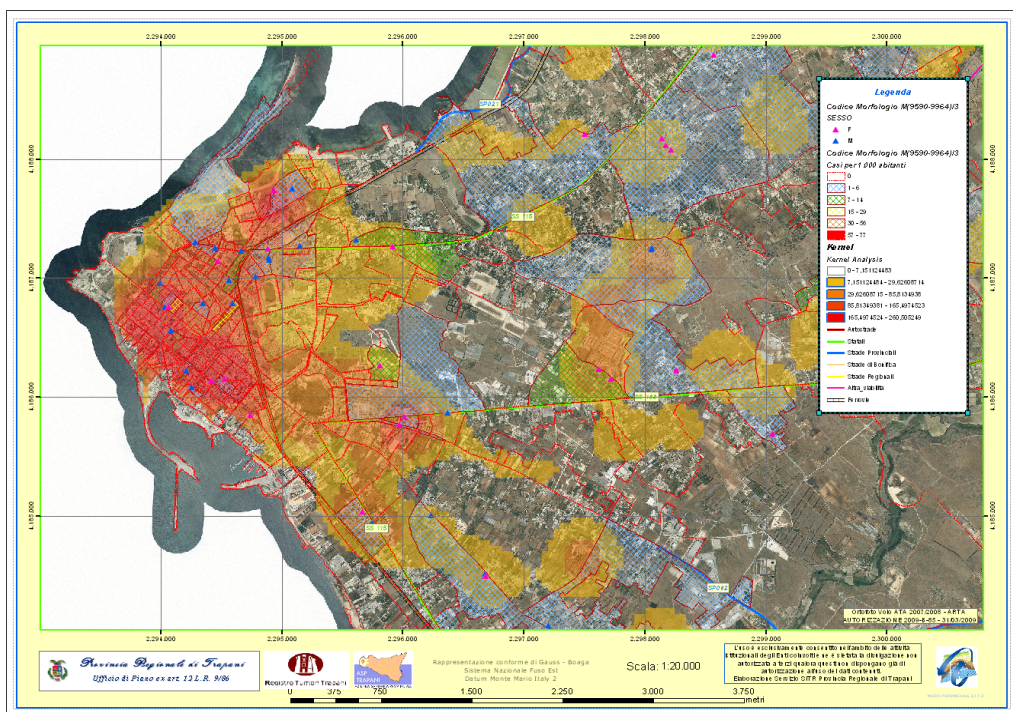


Figura 7 – Elaborazione e stampa risultati Stima della densità per punto tramite analisi tradizionale + Kernel Analysis.



Figura 8 – Case History: National Cancer Institute.

Bibliografia e Fonti

- ✓ Registro Tumori di Trapani (propugnaculum ad urbis tutelam): Incidenza e mortalità dei tumori in provincia di Trapani nel periodo 2002- 2004
- ✓ Sito Istituzionale Registro tumori - <http://www.registri-tumori.it/cms/>;
- ✓ Sandro Tognazzo (2007) - Registro Tumori del Veneto - Istituto Oncologico Veneto – IRCCS – “Il controllo dei flussi informativi” - Corso per operatori dei Registri Tumori – Reggio Emilia, 3-6 dicembre 2007;
- ✓ Geographic based Research and Applications at the National Cancer Institute (2004) - Linda Williams Pickle¹, Mary H. Ward¹, Dan J. Grauman¹, Daniel B. Carr¹, John R. Nuckols, Michael J. Barrett, James E. Cucinelli³, Scott M. Sherman³, H. Scott Brunton, Deborah M. Winn¹ (National Cancer Institute, Bethesda, MD; Department of Environmental Health, Colorado State University, Ft. Collins, CO; IMS, Inc., Silver Spring, MD, Titan Corporation, Reston, VA) “Case History: National Cancer Institute”;
- ✓ Gabriele Maida “Georeferenziazione delle patologie oncologiche veterinarie per future azioni di prevenzione primaria”;
- ✓ G. Candela*, T. Scuderi*, M. Ribaudo*, A. Putaggio** (*Registro Tumori ASP Trapani ** Provincia Regionale di Trapani) (2011) “Sinergia tra sistemi informativi territoriali e registro tumori: la georeferenziazione dei dati del Registro Tumori di Trapani” - XV Riunione Scientifica Annuale dell’AIRTUM Palermo dal 9 al 11 Maggio 2011;
- ✓ A. Putaggio (2003) "Utilizzo dei Sistemi Informativi Territoriali nel Sistema Sanitario" - Convegno di formazione e aggiornamento professionale "Cultura e qualità dell'ambiente. Igiene e salubrità degli alimenti" tenutosi ad Erice nel Giugno 2003;
- ✓ ISTAT – Sezioni di Censimento anno 2001.

Web-GIS per l'interrogazione guidata di dati geologico-tecnici per la microzonazione sismica

Giuseppe Ranfone (*), Massimo Spadoni (**), Paolino Di Felice (*)

(*) Dipartimento di Ingegneria Elettrica e dell'Informazione, Università di L'Aquila
Via G. Gronchi, 18, campo di Pile, L'Aquila, Tel. 0862.434418, Fax 0862.434404
peppe7@gmail.com, paolino.difelice@univaq.it

(**) CNR, Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria, Area della Ricerca di Roma 1
Via Salaria km. 29.300, 00015 Monterotondo Stazione (Roma)
Tel. 06.90672741, Fax 0690672733, massimo.spadoni@igag.cnr.it

Riassunto

La microzonazione sismica è una procedura di valutazione dell'hazard sismico locale basata sullo studio delle caratteristiche geologico-tecniche del sottosuolo e sull'individuazione di zone del territorio caratterizzate da comportamento sismico omogeneo. Il CNR-IGAG in accordo con il Dipartimento Nazionale di Protezione Civile (DPC) ha sviluppato un sistema di archiviazione delle informazioni geologiche del sottosuolo denominato MAHA (Microzonation And HAZard). Lo sviluppo ha impiegato unicamente software open source. PostgreSQL e la relativa estensione spaziale PostGIS sono stati utilizzati per la struttura di archiviazione, Flex è stato impiegato per l'interfaccia grafica mentre il sistema WebGIS si è basato su l'utilizzo di API che consentono l'incorporazione della tecnologia Google Maps nelle applicazioni Flash (es. *Geocoding API*, *Elevation API*, *Directions API* e *Places API*). Lo sviluppo ha richiesto la codifica di funzioni Flash per far fronte alle esigenze di eseguire query spaziali per l'inserimento/modifica e consultazione dei dati. Report individuali vengono generati in risposta a specifiche query SQL.

Abstract

Seismic microzonation is a procedure for the evaluation of local seismic hazard which is based on the study of the geotechnical features of the subsoil and on the identification of land sectors characterized by an homogeneous seismic behavior. CNR-IGAG along with the National Department for Civil Protection (DPC) developed a system for the storage of geological information named MAHA (Microzonation And HAZard). Only open source software was used for the implementation of this system. PostgreSQL and its spatial extension PostGIS were used to build the physical structure of the database, Flex was used for the graphical interface and the WebGIS system was based on the use of specific API which allow the integration between Google Maps technology and Flash applications. (e.g. *Geocoding API*, *Elevation API*, *Directions API* and *Places API*). The implementation required the coding of Flash functions to run spatial queries dedicated to data input, modification and retrieval.

Introduzione

Analogamente a quanto accade in numerose discipline afferenti alle scienze ambientali, il rischio sismico in area urbana può essere definito come il prodotto delle tre componenti 1) pericolosità di natura geologica (o hazard), 2) vulnerabilità (di edifici ed infrastrutture) e 3) valore degli elementi a rischio. In particolare la pericolosità sismica di un territorio viene definita come la probabilità che in una data area ed in un certo intervallo di tempo si verifichi un terremoto che superi una soglia di intensità, magnitudo o accelerazione di picco (PGA – Peak Ground Acceleration). La microzonazione sismica è una procedura che supporta la valutazione dell'hazard sismico locale

“attraverso l’individuazione di zone del territorio caratterizzate da comportamento sismico omogeneo” (Gruppo di lavoro MS, 2008) ovvero da valori simili di amplificazione sismica legata al particolare assetto geologico del sottosuolo (Caielli et al., 2008). Risulta evidente che una corretta applicazione dell’indagine richiede la raccolta e la consultazione di grandi quantità di informazioni di natura geologica, caratterizzate da provenienze eterogenee e grandi diversità sia tipologiche che qualitative. L’accelerazione fornita dal terremoto aquilano del 6 aprile del 2008 agli studi di microzonazione sismica in Italia è culminata con una serie di provvedimenti legislativi a carattere sia regionale che nazionale che hanno incentivato l’impiego di questo strumento nell’ambito delle attività di prevenzione e pianificazione (es. art. 11 del DL 28/04/2009 n. 39 e OPCM 13/11/2010 n. 3907). Un progetto parallelo attivo tra il Dipartimento Nazionale di Protezione Civile ed il CNR – Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria ha riguardato la definizione di linee guida per l’archiviazione e la gestione delle informazioni geologiche utili agli studi di microzonazione (Spadoni, 2008). Ciò ha portato alla definizione di strutture di archiviazione dati che sono state proposte alla “Commissione Tecnica per il monitoraggio degli studi di Microzonazione Sismica” istituita dal sopra citato OPCM 13/11/2010 n. 3907.

La base di dati MAHA

MAHA (Microzonation And HAZard database) è una base di dati spaziali realizzata per l’archiviazione dei dati utili per l’esecuzione di studi di microzonazione sismica (Spadoni et al., 2009; Spadoni, 2009). Essa si compone di 15 tabelle (3 delle quali di tipo spaziale, ovvero con al loro interno almeno una colonna di tipo geometrico. Per inciso le geometrie che è stato necessario usare sono punti, linee ed aree che assommano, complessivamente, a 3 colonne). L’elemento base da archiviare è il **Documento** all’interno del quale sono contenuti i dati tecnico-scientifici relativi ad una o più indagini conoscitive eseguite sul territorio. Ogni documento raccoglie la descrizione di un certo numero di siti sui quali si sono effettuate delle indagini, nonché i dati delle stesse.

Ogni indagine è descritta da dati alfanumerici e dati spaziali. I primi sono per lo più costituiti da misure di variabili di natura geologica, geotecnica, idrogeologica, geofisica e sismica, riconducibili a posizioni ben precise sulla superficie topografica o nel sottosuolo. I secondi completano i primi aggiungendo la localizzazione (espressa dalle coordinate <Latitudine, Longitudine> in un qualche sistema geodetico di riferimento) sulla superficie terrestre (comunemente denominata *georeferenziazione*) delle indagini effettuate. La figura 1 mostra la porzione dello schema concettuale di MAHA che esplicita le tre tipologie di siti che possono essere sede d’indagine (ovvero: **siti puntuali**, sono quelli la cui ubicazione è rappresentabile con un punto, **lineari** e **areali**), le **indagini** che su tali siti hanno luogo (**indagini puntuali**, **lineari** ed **areali**) ed, infine, i **parametri** tecnici associati alle attività di microzonazione sismica.

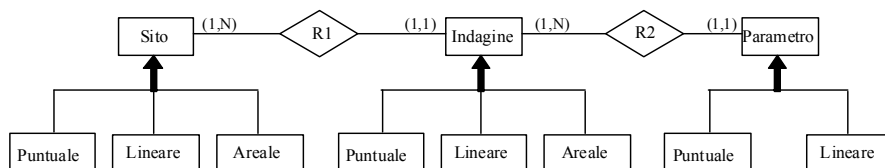


Figura 1 – Frammento dello schema E-R di MAHA.

Nella ristrutturazione di questa porzione dello schema E-R si è optato per l’eliminazione delle entità “padre” (ovvero: *Sito*, *Indagine* e *Parametro*) che sono state, quindi, “accorpate” nelle “figlie”. Per la proprietà dell’ereditarietà, gli attributi e le relazioni a cui le entità padre partecipavano sono state migrate nelle entità figlie. Per ragioni di leggibilità si è, altresì, provveduto alla ridenominazione delle entità figlie all’atto della loro traduzione nel modello logico. Seguono gli script SQL relativi alla creazione delle tabelle *sitoPuntuale*, *indaginePuntuale* e

parametro Puntuale onde estendere la familiarità con la base di dati MAHA attraverso la elencazione (seppur incompleta) degli attributi descrittivi.

```
CREATE TABLE sitoPuntuale (
    pkey_spu          integer PRIMARY KEY    NOT NULL,
    id_spu            character varying(15)  NOT NULL,
    ubicazione_prov   character varying(2)   NOT NULL,
    ubicazione_com    character varying(3)   NOT NULL,
    indirizzo         character varying(255),
    quota_slm         numeric                NOT NULL,
    .....
    pkey_doc          integer                NOT NULL,
    geometry          geometry              NOT NULL
);
ALTER TABLE ONLY sitoPuntuale
    ADD CONSTRAINT fkey_doc FOREIGN KEY (pkey_doc) REFERENCES
documento(pkey_doc);

CREATE TABLE indaginePuntuale (
    pkey_indpu integer PRIMARY KEY NOT NULL,
    id_indpu  character varying(17) NOT NULL,
    classe_ind character varying(3) NOT NULL,
    tipo_ind  character varying(4) NOT NULL,
    .....
    prof_top  numeric,
    prof_bot  numeric,
    spessore  numeric,
    quota_slm_top  numeric,
    quota_slm_bot  numeric,
    data_ind  date,
    pkey_spu integer NOT NULL
);
ALTER TABLE ONLY indaginePuntuale
    ADD CONSTRAINT fkey_all FOREIGN KEY (pkey_all) REFERENCES
allegato(pkey_all) ON UPDATE RESTRICT ON DELETE SET NULL;

ALTER TABLE ONLY indaginepuntuale
    ADD CONSTRAINT fkey_spu FOREIGN KEY (pkey_spu) REFERENCES
sitopuntuale(pkey_spu) ON UPDATE RESTRICT ON DELETE RESTRICT;

CREATE TABLE parametroPuntuale (
    pkey_parpu integer PRIMARY KEY NOT NULL,
    id_parpu  character varying(25) NOT NULL,
    tipo_parpu character varying(3) NOT NULL,
    prof_top  numeric,
    prof_bot  numeric,
    spessore  numeric,
    quota_slm_top  numeric,
    quota_slm_bot  numeric,
    .....
    pkey_indpu integer NOT NULL
);
ALTER TABLE ONLY parametroPuntuale
    ADD CONSTRAINT fkey_all FOREIGN KEY (pkey_all) REFERENCES
allegato(pkey_all) ON UPDATE RESTRICT ON DELETE SET NULL;
```

In questo articolo, per limiti di spazio, ci si concentrerà sulle indagini relative ai *sol*i siti puntuali.

Tecnologie software

Per agevolare le interazioni con la base di dati si è sviluppata un'applicazione di supporto al caricamento/modifica e alla successiva consultazione dei dati concernenti le attività di microzonazione sismica attraverso azioni di *manipolazione diretta* su finestre e caselle di testo di un'interfaccia ad hoc molto intuitiva e ricca di funzionalità. All'operatore non sono richieste competenze particolari, ma solo la capacità interpretativa dei dati da introdurre o restituiti dall'applicazione.

La schermata della figura 2, ad esempio, è di supporto all'inserimento/modifica delle informazioni *descrittive* di un sito.

The screenshot shows a web application titled "SITO PUNTUALE" with a logo on the top left. The interface is divided into several sections:

- Top Bar:** Includes a dropdown menu "Seleziona un sito esistente", buttons "Definisci un nuovo sito", "<<Torna a Documento", and "Log out".
- Identificazione:** Contains fields for "Identificativo sito puntuale:", "Progressivo del record in tabella:", "Titolo del documento:" (with the value "Microzonazione Avezzano"), "Provincia di ubicazione (sigla):" (dropdown with "L'Aquila AQ"), "Codice ISTAT del comune:" (dropdown with "Avezzano 006"), and "Indirizzo di riferimento:".
- Ubicazione:** Contains fields for "Geographic" (Lat, Long) and "UTM" (X (Est), Y (Nord), zone). It has radio buttons for "Recupera coordinate da indirizzo", "Inserisci manualmente le coordinate" (with sub-radio buttons for "UTM" and "Geographic"), and "Label". There are "Vai alla mappa" buttons next to the UTM and Label fields.
- Modalità ident. coordinate:** A dropdown menu currently showing "altro (vedi nota)".
- Descrizione (ad es. n° CTR):** A text input field.
- Quota:** Contains a dropdown for "Modalità ident. quota:" and a text input for "Quota sul livello del mare:".
- Informazioni correlate:** A section at the bottom with a button "Indagini Puntuali".
- Bottom Bar:** Includes buttons "Annulla", "Salva record", and "Elimina".

Figura 2 – Ambiente per l'inserimento dei dati descrittivi di un sito puntuale.

L'architettura dell'applicazione è a "tre livelli", ossia si compone del livello dei dati, del livello della logica di business e dell'interfaccia lato client/utente. L'applicazione sviluppata si spinge fino alla generazione automatica di report "personalizzati" in formato PDF contenenti informazioni circa la geomorfologia del territorio, a partire dai dati presenti nella base di dati.

In MAHA vengono archiviate informazioni relative alla tipologia e alla modalità esecutiva delle indagini nonché al valore dei parametri misurati. Per rendere possibile l'archiviazione dei dati spaziali relativi all'ubicazione delle indagini, si è realizzata una base di dati tramite il SGBD PostgreSQL con relativa estensione spaziale PostGIS. Com'è noto, quest'ultimo fornisce i *tipi di dati* e le *funzioni spaziali* specificati dall'Open Geospatial Consortium (OGC, 2007).

L'interfaccia grafica attraverso cui il *client* interagisce con MAHA è stata realizzata tramite Flex, un framework gratuito e open source per la creazione di applicazioni web altamente interattive implementabili uniformemente su tutti i principali browser (Internet Explorer, Mozilla Firefox e Google Chrome), desktop e sistemi operativi con l'ausilio dei runtime Adobe® Flash® Player e Adobe AIR®. La programmazione tramite Flex presuppone la coesistenza, in un medesimo file sorgente, di codice MXML e codice ActionScript. MXML è un linguaggio dichiarativo basato su

XML. Esso viene utilizzato per descrivere il layout e i comportamenti dell'interfaccia utente, mentre ActionScript® 3.0, il linguaggio di scripting di Adobe Flash nonché un efficiente linguaggio di programmazione orientato agli oggetti, viene utilizzato per creare la logica client. Flex comprende, inoltre, una vasta libreria di componenti per la creazione di Rich Internet Applications, cioè applicazioni web che possiedono le caratteristiche e le funzionalità delle applicazioni desktop, senza però necessitare dell'installazione su disco fisso.

La parte dell'interfaccia grafica che si occupa dell'ubicazione delle indagini sulla superficie topografica avviene attraverso un WebGIS realizzato *ad hoc*, basato su Google Maps. In concreto, è stato necessario l'utilizzo delle API che consentono di incorporare Google Maps nelle applicazioni Flash. Tali librerie forniscono delle utility per la manipolazione e l'aggiunta di contenuti alle mappe attraverso una varietà di servizi.

Google Maps dispone, inoltre, delle Google Maps Web Services API, ovvero di servizi di agevole utilizzo all'interno di applicazioni Maps. Questi servizi sono progettati per essere utilizzati in combinazione con una mappa (come stabilito da Maps API Terms of Service License Restrictions). I Web Services messi a disposizione sono: *Geocoding API*, *Elevation API*, *Directions API* e *Places API*. Geocoding è il processo di conversione di indirizzi in coordinate geografiche (esprese come latitudine e longitudine) utile per posizionare dei *marker* sulla mappa. E', altresì, offerto il servizio di Reverse Geocoding. Elevation API consente di richiedere dati circa l'elevazione (quota s.l.m.) di punti individuati sulla superficie terrestre. Directions API restituisce le indicazioni tra due località, infine Places API fornisce informazioni su un luogo.

Interazione con la parte spaziale di dati MAHA

Il presente articolo si focalizza sull'interfaccia che funge da ponte tra l'utente (sia esso il geologo autore delle indagini oppure un operatore autorizzato ad inserire, modificare o consultare i dati), la base di dati MAHA e le mappe di Google (sia satellitari/raster che vettoriali), quest'ultime scelte quale background "dinamico" per la visualizzazione dei dati di volta in volta d'interesse.

La realizzazione dell'interfaccia grafica ha richiesto la codifica di funzioni Flash per far fronte a due esigenze basilari: l'inserimento/modifica dei dati relativi alle indagini e la loro consultazione. Come già detto, le diverse funzionalità sono state realizzate facendo interagire la base di dati MAHA con le librerie di Google Maps.

L'inserimento/modifica dei siti puntuali è stata implementata in modo tale da consentire, lato utente, l'inserimento agevole dei dati descrittivi e quelli geografici. L'utente, dopo aver inserito le informazioni descrittive del sito d'indagine (come, ad esempio, comune e provincia di ubicazione, ed indirizzo – figura 2), ha la possibilità di scegliere la "modalità di ubicazione" del sito, ovvero in che modo immettere e/o recuperare le corrispondenti coordinate. Egli può scegliere tra tre diverse modalità, ognuna delle quali basata sull'utilizzo di una mappa di Google. Il risultato è un infomarker posizionato sulla mappa stessa contenente (figura 3): le coordinate geografiche (Lat, Lng) e quelle UTM WGS84 del sito, il suo indirizzo (se presente) e la quota s.l.m.

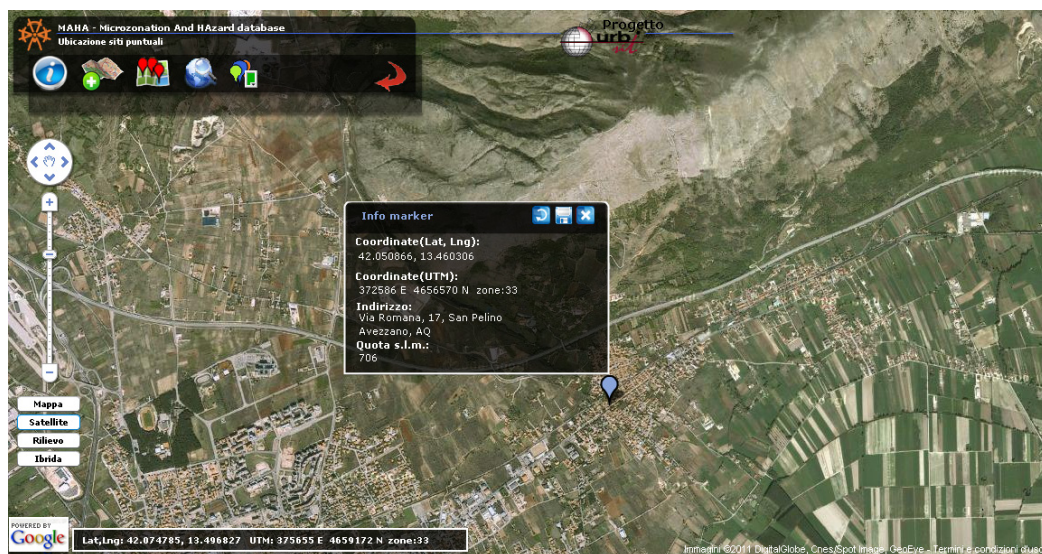


Figura 3 – Ubicazione di un sito puntuale d'indagine.

Recupera coordinate da indirizzo: tramite le funzioni di geocodifica messe a disposizione da Google Maps (di cui si è già detto) è agevole (come testimoniato di seguito), a partire dall'indirizzo di riferimento di un sito d'indagine, recuperarne le coordinate.

```
public function geocodeAddress(e:Event):void{
    var geocoder:ClientGeocoder = new ClientGeocoder();
    geocoder.addEventListener(GeocodingEvent.GEOCODING_SUCCESS,
        geocoderResult);
    geocoder.addEventListener(GeocodingEvent.GEOCODING_FAILURE,
        geocoderFault);
    geocoder.geocode(this.indirizzo) }
```

Inserimento manuale delle coordinate: se si è a conoscenza delle coordinate del sito da ubicare è possibile inserire manualmente tali coordinate. Vengono accettati come input due differenti formati: le coordinate geografiche (Lat, Lng) oppure le coordinate UTM WGS84.

Recupero coordinate dalla mappa: con quest'ultima modalità è possibile recuperare le coordinate direttamente dalla mappa. L'utente, infatti, ha la possibilità di scegliere un punto sulla mappa e di recuperarne le coordinate tramite selezione con il mouse.

Sono state sviluppate anche altre funzionalità al fine di facilitare l'individuazione dei siti d'indagine da parte dell'utente. Esempi concernono il caricamento di altre mappe (ad esempio le CTR, la figura 4 propone un esempio) o file KML.



Figura 4 – Un esempio di caricamento di una mappa CTR relativa alla zona Est di L'Aquila.

La parte restante di questa sezione si concentra sulla consultazione della base di dati MAHA. L'obiettivo è fornire testimonianza (seppur limitata) della semplicità ed efficacia operativa offerta all'utente a supporto di un'attività decisamente cruciale. Preliminarmente, si segnalano due aspetti rilevanti della soluzione realizzata: a) la visualizzazione dei siti d'indagine viene *sempre* riportata avendo sullo sfondo la mappa di Google; b) è possibile effettuare in modalità grafica query che coinvolgono operatori spaziali. Ad esempio, è possibile selezionare quelle indagini effettuate in siti che ricadono in una certa area geografica (individuata da un poligono con un numero arbitrario di lati disegnato sulla mappa dall'utente stesso) o in un cerchio di raggio prefissato, e/o ad una certa distanza da una strada (rappresentata da una linea, anche spezzata, disegnata sempre dall'utente). La schermata di figura 5 mostra la "finestra base" a partire dalla quale è possibile investigare i dati circa le indagini puntuali. In concreto trattasi di riempire qualcuna delle caselle di testo che appaiono in alto a destra nella schermata.

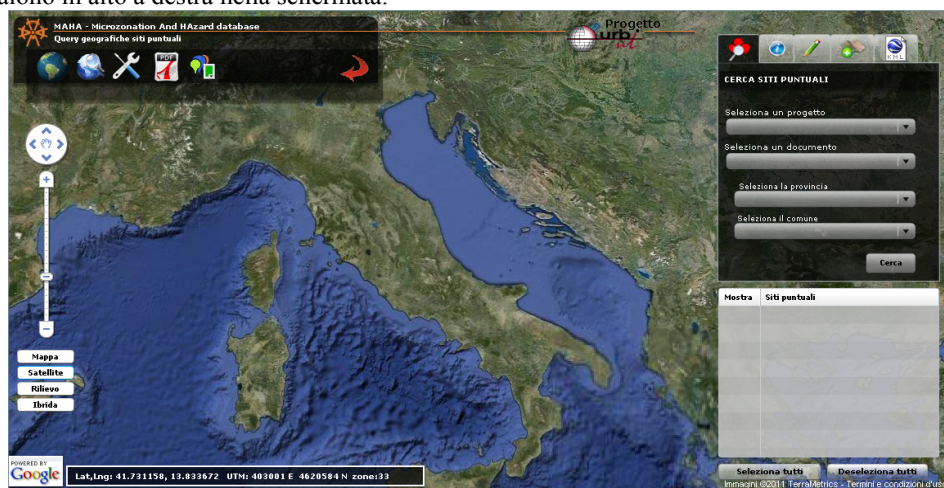


Figura 5 – Ambiente per il reperimento di indagini puntuali.

La schermata della figura 6 mostra l'output di tutte le indagini puntuali raccolte in uno specifico documento.

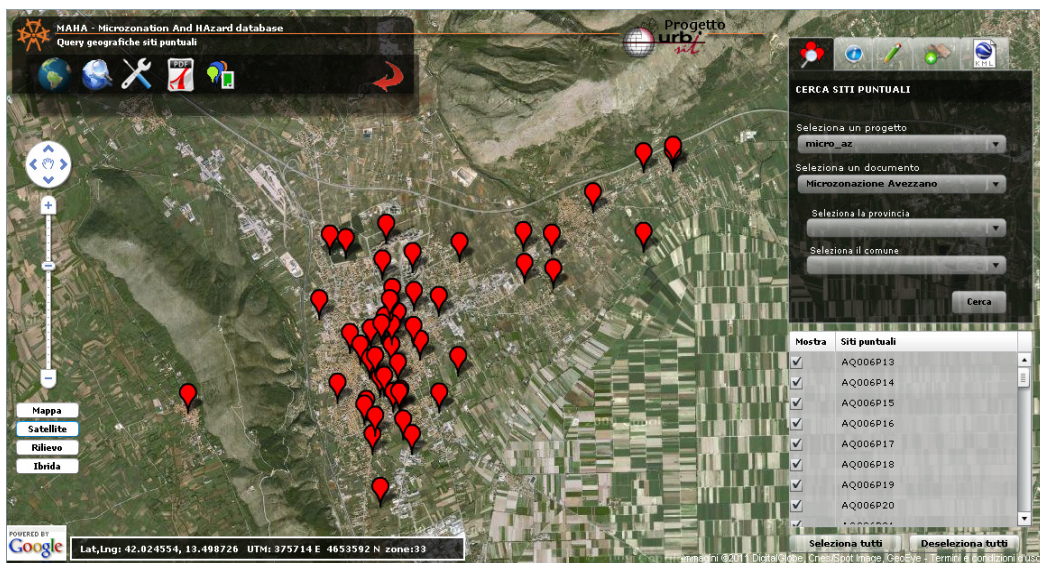


Figura 6 – Visualizzazione delle indagini puntuali contenute in uno specifico documento.

E' stata implementata una funzionalità la quale consente un accesso selettivo alle indagini facenti parte di un medesimo documento. Per attivarla l'utente deve disegnare sulla mappa di background che gli appare sulla schermata base un poligono "ad hoc" (un esempio è proposto nella figura 7).

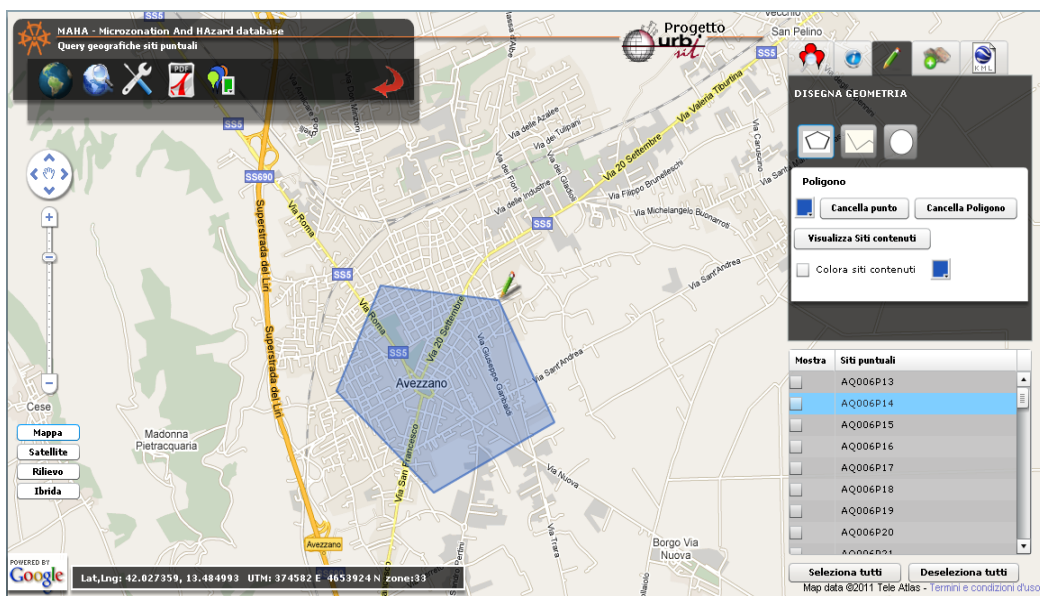


Figura 7 – Formulazione grafica di una query geometrica.

La schermata della figura 8 mostra in output tutte (e sole) le indagini puntuali che cadono nell'area disegnata.

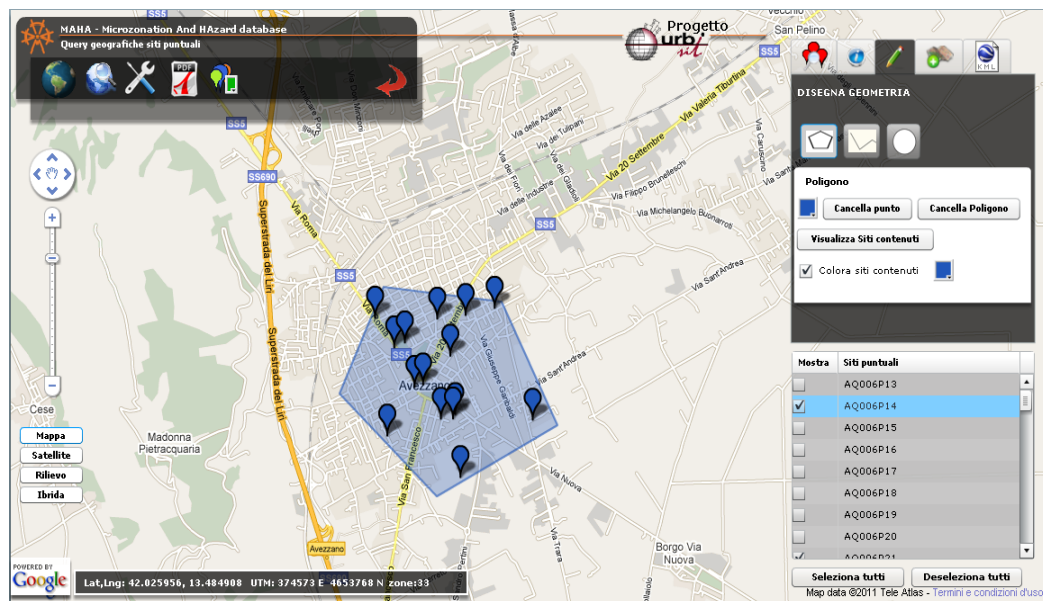


Figura 8 – Visualizzazione delle indagini puntuali contenute nel poligono disegnato.

A commento della figura 7 si segnala quanto segue. Le azioni in manipolazione diretta effettuate dall'utente (vale a dire i vari click del mouse sulla mappa di background) vengono intercettate da una funzione *php* che ne acquisisce i valori selezionati quali parametri d'ingresso con i quali assembla la corrispondente query SQL (riportata appresso).

```
SELECT *
FROM sitoPuntuale
WHERE ST_contains(ST_GeomFromText('POLYGON((42.03 13.41, 42.02
13.42, 42.03 13.44, 42.04 13.45, 42.05 13.42, 42.03
13.41))'), ST_asText(geometry))
```

E' forse superfluo rimarcare che è l'operatore spaziale `ST_contains()` a farsi carico di individuare *tutti e soli* i siti puntuali che cadono nel poligono disegnato dall'utente.

Di grande utilità pratica è la funzionalità offerta dall'applicazione sviluppata di poter richiedere, a valle della costruzione di una query, la generazione automatica di report in formato PDF.

Ogni report si compone di tante pagine quante sono le indagini eseguite sui siti restituiti dalla query SQL. La generica pagina raccoglie le informazioni (indirizzo, coordinate e quota) riguardanti l'indagine puntuale eseguita su un determinato sito. Ogni indagine è, inoltre, descritta dagli attributi Classe e Tipo (d'indagine), spessore investigato in scala. La colonna stratigrafica ricostruita contiene campiture corrispondenti alla descrizione litologica.

Conclusioni

La realizzazione di una struttura di archiviazione di riferimento per i dati del sottosuolo costituisce un elemento indispensabile per la capillare diffusione delle procedure di microzonazione sismica

nel territorio italiano. Le tecnologie open source oggi a disposizione consentono l'accesso gratuito a potenti strumenti software in grado di favorire tale processo. In tal senso Maha si propone di dare un contributo pratico, ben fondato dal punto di vista teorico nel corretto approccio alla modellazione del sottosuolo e attento all'utilizzo delle tecnologie più innovative nel campo del WebGIS e delle banche dati spaziali. L'implementazione all'interno di Maha di ulteriori funzioni di reporting e di analisi spaziale dei dati consentiranno nel prossimo futuro di testare appieno di tale sistema sull'intero spettro di problematiche connesse al processo di microzonazione sismica.

Ringraziamenti

Questo lavoro è stato in parte finanziato dal Dipartimento Nazionale di Protezione Civile nell'ambito del progetto URBISIT. Un grazie particolare va a Fabrizio Bramerini e Giuseppe Naso del DPC per il loro contributo di idee e la loro revisione critica e costruttiva al nostro lavoro.

Bibliografia

- Caielli G., De Franco R., Giaccio B., Lacchini A., Lanzo G., Mancini M., Messina P., Pagliaroli A., Petitta M., Raspa G., Spadoni M., Tommasi P. (2008) *Modello del sottosuolo per la microzonazione sismica*. Progetto URBISIT, Report 4.2b
- Gruppo di lavoro MS (2008) *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica*. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome – Dipartimento della protezione civile, Roma, 3 vol. e Cd-rom.
- Spadoni M. (2008a) *Criteri e linee guida per la realizzazione della banca dati finalizzata alla microzonazione sismica*. Progetto URBISIT, Report 4.2a.
- Spadoni M. (2009) *Specifiche tecniche per le funzionalità del sistema informativo*. Con il contributo di: F. Bramerini, A. Lacchini, G. Naso, A. Pagliaroli. Progetto URBISIT, Report 4.3a.
- Spadoni M., Bramerini F., Naso G. (2009) *Designing a database to support subsurface modelling for seismic microzonation*. 6th EUREGEO 2009, June 9 - 12, Munich, Germany, vol. 1, 206-209.
- OpenGIS Implementation standard for geographic information (2007). Simple feature Access, Part 2: SQL Option (ref. number: OGC 06-104r4), 2007.
- Google Maps Flash API, <http://code.google.com/intl/it-IT/apis/maps/documentation/flash>

Rilievi e Modellazione 3D

Fabio Remondino, Alessandro Rizzi, Giorgio Agugiaro, Belen Jimenez,
Fabio Menna, Francesco Nex, Giorgio Baratti

3D Optical Metrology, Fondazione Bruno Kessler, Trento
<remondino><rizziale><agugiaro><bjfernandez><fmenna><franex><baratti>@fbk.eu
<http://3dom.fbk.eu>

Riassunto

La generazione di modelli 3D di siti e oggetti del nostro territorio e patrimonio culturale richiede una metodologia affidabile e precisa in grado di catturare digitalmente tutti i dettagli geometrici della scena analizzata. Tecniche moderne di rilievo si basano su sensori attivi o passivi, impiegati da soli o integrandoli, al fine di sfruttarne al meglio i singoli vantaggi. Modelli digitali 3D sono alla base di innumerevoli applicazioni quali la cartografia, il monitoraggio, la pianificazione territoriale, la documentazione, il restauro digitale, il calcolo delle dispersioni termiche o del potenziale fotovoltaico dei tetti, l'animazione e visualizzazione, etc. L'articolo rivede le principali tecniche di rilievo e modellazione 3D riportando le metodologie sviluppate con diversi esempi a scala territoriale e locale.

Abstract

The generation of 3D models of sites and objects requires a methodology able to deliver reliable and precise results with all the geometric and radiometric details of the surveyed scene. Nowadays the surveying techniques employ passive or active sensors, alone or in an integrated mode in order to exploit all the advantages of each technique. Reality-based 3D models are used in many applications like mapping, monitoring, documentation, conservation, animation, planning, heat dispersion estimation, etc. The article reviews the most common surveying techniques and 3D modeling issues before presenting different examples of projects running in FBK.

Introduzione

Il rilievo digitale e la creazione di modelli tridimensionali (3D) di oggetti e scene complesse ha ricevuto negli ultimi anni molto interesse da parte della comunità scientifica e del settore commerciale. Grazie agli sviluppi nel campo della sensoristica è infatti possibile acquisire grandi quantità di dati, geo-referenziarli e derivarne informazioni 3D in maniera abbastanza semplice. Si sta assistendo sempre più a restituzioni virtuali dell'ambiente che ci circonda, con ambientazioni e visualizzazioni 3D prodotte per varie applicazioni quali la documentazione, conservazione, restauro virtuale, simulazione, didattica, animazione, cartografia, gestione territoriale (GIS), monitoraggio, ecc. Uno degli esempi più appropriati è Google Earth, che associa mappe e immagini satellitari a modelli tridimensionali di terreni, città o singoli edifici e dimostra a utenti anche non esperti le potenzialità delle geo-tecnologie e degli strumenti digitali di rilievo 3D oggi disponibili.

L'utilizzo di metodologie digitali nel settore cartografico è ormai diventato da diversi anni uno standard anche a livello produttivo. Nel campo architettonico e archeologico il rilievo digitale ha subito nell'ultimo decennio un sensibile cambiamento, dovuto principalmente alla capacità di restituire senza contatto e con grande accuratezza modelli digitali tridimensionali. Esiste una linea metodologica chiaramente definita lungo la quale negli ultimi anni l'implementazione di tecniche di fotogrammetria e laser scanner ha raggiunto i caratteri di un sistema maturo e stabile. Ciò ha determinato l'aumento di tecniche di modellazione 3D come pratiche di lavoro su edifici storici e

artefatti archeologici e la consolidazione di una metodologia del processo di creazione di modelli 3D a partire da scene reali che presenta ormai passaggi ben definiti e chiari.

L'uso di GIS per la gestione dei dati geo-spaziali è infine diventato una pratica comune anche se i nuovi sviluppi tendono ad andare nella direzione del BIM (*Building Information Modeling*).

Nei paragrafi successivi, viene riportata una breve presentazione delle tecniche di rilievo e modellazione 3D e della modalità di gestione e visualizzazione di dati geo-spaziali.

Viene poi data particolare attenzione a diversi casi di studio e progetti dell'unità di ricerca 3DOM (3D Optical Metrology) della Fondazione Bruno Kessler (FBK) di Trento.

Rilievo e modellazione 3D

Le principali tecniche *reality-based* di rilievo digitale per acquisire dati spaziali e produrre modelli 3D si possono classificare in:

1) tecniche basate su sensori passivi (metodi *image-based*) (Remondino & El-Hakim, 2006): esse sfruttano la luce presente nell'ambiente per acquisire immagini da elaborare successivamente per derivarne informazioni 3D della scena osservata. Tra queste tecniche, la fotogrammetria è quella più conosciuta ed utilizzata per rilievi cartografici, architettonici, industriali e archeologici, con la precisione e affidabilità dei risultati come obiettivo principale. Una tecnica simile è la *computer vision* che però ha come scopo primario l'automazione dell'intero processo di restituzione (2D o 3D) da immagini, riducendo quindi l'accuratezza e dei risultati ottenuti. Al momento il principale vantaggio dei sistemi passivi e delle relative tecniche di elaborazione risiede nel costo e nella trasportabilità dei sensori (soprattutto nel caso terrestre) nonché nel fatto che le immagini sono sempre reperibili in archivi storici o banche dati. L'automazione nel processo fotogrammetrico terrestre ha raggiunto livelli soddisfacenti, sia nella fase di orientamento (Barazzetti et al., 2010; Pierrot-Deseilligny & Clery, 2011) che in quella di correlazione automatica (Remondino et al., 2008; Vu et al., 2009; Furukawa and Ponce, 2010; Pierrot-Deseilligny et al., 2011). Ma sicuramente una forte esperienza è richiesta nell'acquisire e processare le immagini e questo ha portato molti utenti all'uso di strumentazione laser scanner. Le immagini possono essere acquisite da sensori montati su satelliti, aeree, droni (o più genericamente UAV) o camere digitali terrestri. Recentemente i droni hanno avuto un forte successo e sviluppo, sia nel campo archeologico che architettonico, permettendo di acquisire immagini nadirali o oblique con bassi costi e affidabilità di rilievo abbastanza elevate.

2) tecniche basate su sensori attivi (metodi *range-based*) (Vosselman & Maas, 2010): esse impiegano strumenti che emettono un segnale elettromagnetico (nel campo del visibile, infrarosso, raggi X, ecc.) che viene poi registrato dallo strumento al fine di derivarne una misura di distanza (*range*). Strumenti *range-based* sono i laser scanner (terrestri o aerei), le stazioni totali, i GNSS, i radar, ecc. Nel campo architettonico e dei beni culturali, i laser scanner (a triangolazioni o tempo di volo) e i sistemi a luce strutturata hanno riscontrato un grande successo e hanno notevolmente aumentato la facilità con la quale possono essere acquisiti i dati formali relativi a semplici oggetti o ad ampie strutture. A scala territoriale, il LiDAR (o *airborne laser scanning*) viene spesso preferito al tradizionale rilievo fotogrammetrico, in particolare per il fatto di poter penetrare e discriminare la vegetazione. I sensori LiDAR infatti sono in grado di fornire direttamente e in poco tempo grandi moli di dati 3D, restituendoli sotto forma di nuvola di punti non strutturata e densa. L'elevato numero di informazione non strutturata richiede poi lunghi tempi di editing per estrarne gli elementi geometrici più significativi della scena o crearne un modello geometrico poligonale. Inoltre i sensori attivi sono generalmente progettati per uno specifico campo di utilizzo, pertanto per lavorare in un determinato raggio d'impiego. Ma a fronte delle rapide acquisizioni di grandi quantità di dati 3D, costi, problemi di trasportabilità o problemi nel rilievo di spigoli possono spesso limitarne l'impiego in particolari missioni di lavoro.

Una metodologia di rilievo e modellazione 3D viene ideata combinando diverse tecniche, cercando di sfruttare i vantaggi e sopperire agli eventuali limiti di ciascuna singola tecnica. Infatti, al momento, non esiste una singola tecnica di rilievo portatile e flessibile, in grado di fornire, allo

stesso tempo, risultati accurati con costi contenuti e in tempi rapidi. Pertanto l'integrazione di diverse tecniche di rilievo, soprattutto per applicazioni terrestri, viene generalmente adottata per rilevare siti molto complessi e ampi (El-Hakim et al., 2007; Stamos et al., 2008; Guidi et al., 2009). La scelta della tecnica migliore o della metodologia d'integrazione dipende da molti fattori, tra cui l'esperienza, il tipo di oggetto o scena da rilevare, il materiale, lo scopo del rilievo, il dettaglio geometrico richiesto, il budget del progetto, ecc. Identificare il migliore approccio è la prima e fondamentale fase per riuscire a ottenere gli obiettivi prefissati. Spesso un rilievo 3D viene eseguito con strumentazione laser scanner perché, benché' costosa, spesso difficile da trasportare e senza un buon sistema per acquisire immagini ad alta risoluzione, non presenta grandi difficoltà nel rilievo di dati geometrici. Ma i recenti sviluppi nel campo della correlazione automatica d'immagini hanno mostrato come sia possibile restituire in 3D, con precisioni molto elevate, anche forme geometriche complesse e dettagliate partendo da dati immagini.

Geo-visualizzazione e GIS 3D

Il rapido avanzamento tecnologico nel campo del rilevamento, delle scienze informatiche e, più specificatamente, nella pubblicazione e distribuzione di contenuti digitali online sta progressivamente contribuendo a ridefinire le modalità di accesso e fruizione di modelli 3D. Grazie alle nuove tecnologie, non solo ricercatori, ma anche nuovi utenti come studenti e turisti possono usufruire di nuovi strumenti per analizzare dati territoriali o condurre analisi riguardanti discipline come la storia dell'arte, l'architettura o l'archeologia. Infatti i modelli 3D possono essere visti come potenziali 'contenitori' per diversi tipi di informazioni, avendo la possibilità arricchire il modello geometrico con dati eterogenei e condurre interrogazioni (anche via web) secondo criteri non solamente geometrici. Ciò permette di esplorare, con una nuova prospettiva, potenziali rapporti tra strutture, oggetti, artefatti, così come possono essere considerati i cambiamenti nel tempo e nello spazio. Se, in generale, strumenti e modelli bidimensionali possono essere sufficienti per determinati ambiti, analisi più complesse o più specifiche richiedono l'uso di modelli e strumenti di analisi 3D, che però non sono ancora completamente sviluppati o disponibili sul mercato.

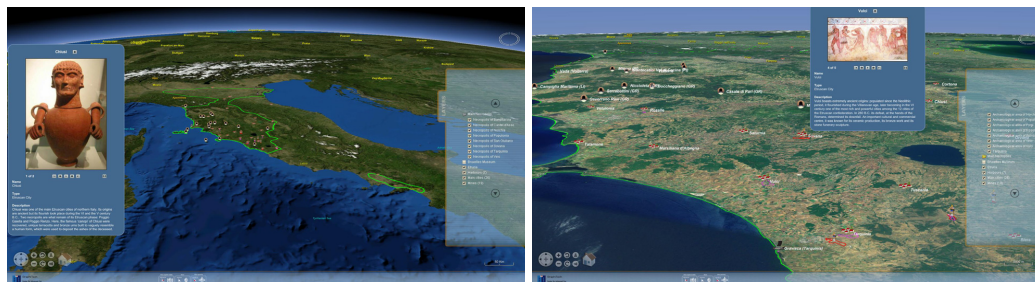


Figura 1 – Geo-browser per la visualizzazione geografica e fruizione di contenuti culturali.

Da una parte esistono potenti strumenti di visualizzazione 3D, ma le possibilità offerte in termini di interrogazione dei modelli ed accesso a dati esterni sono perlopiù scarse o del tutto assenti. Si pensi, per esempio, a Google Earth: è possibile visualizzare e cliccare su oggetti geometrici per ottenere informazioni aggiuntive, oppure è possibile attivare *layer* di dati indipendenti, ma non è tuttavia ancora possibile eseguire ricerche che permettano di evidenziare, per esempio, tutti gli edifici di una città costruiti in un determinato lasso temporale o da un determinato architetto. D'altra parte, proprio la possibilità di eseguire *query* su attributi collegati a geometrie è il campo dove trovano maggiore applicazione i GIS, i quali, al momento, restano ancora fortemente ancorati al mondo 2D o 2,5D. Nonostante esistano strumenti per visualizzare oggetti 3D, tuttavia riescono difficilmente a gestire geometrie complesse e 'pesanti' di modelli *reality-based*. Esistono ciononostante lavori di ricerca che si prefiggono di fornire soluzioni per la gestione e visualizzazione, possibilmente on-line, di dati e modelli 3D (Apollonio et al., 2010; Manferdini and Remondino, 2010; De Luca et al., 2011) ma, a oggi, non è ancora stato proposto o sviluppato un unico pacchetto software onnicomprensivo.

Esempi

Etruschi 3D

Attraverso tecniche di rilievo e modellazione 3D sono stati documentati diversi siti del patrimonio etrusco risalente al VII-IV secolo A.C. I modelli 3D sono utilizzati, oltre a scopi di conservazione digitale, preservazione e trasmissione alle generazioni future anche per finalità di analisi e studi, per creare contenuti digitali per visite virtuali o esposizioni museali e fornire un migliore accesso e comunicazione delle informazioni del patrimonio etrusco (Remondino et al., 2011a).

A partire dai dati raccolti (nuvole di punti acquisite con strumentazione laser scanner e immagini ad alta risoluzione nel campo del visibile, UV e IR) sono stati creati modelli 3D foto-realistici (Figura 2) utilizzati per (i) visualizzazione e interazione, (ii) generazione di nuove planimetrie delle tombe, (iii) analisi geometriche sulle pareti delle tombe al fine di capire l'ortogonalità o planarità dei muri, (iv) calcolo dei volumi scavati o franati, (v) studi di conservazione e restauro e (vi) esposizioni multimediali nei musei.

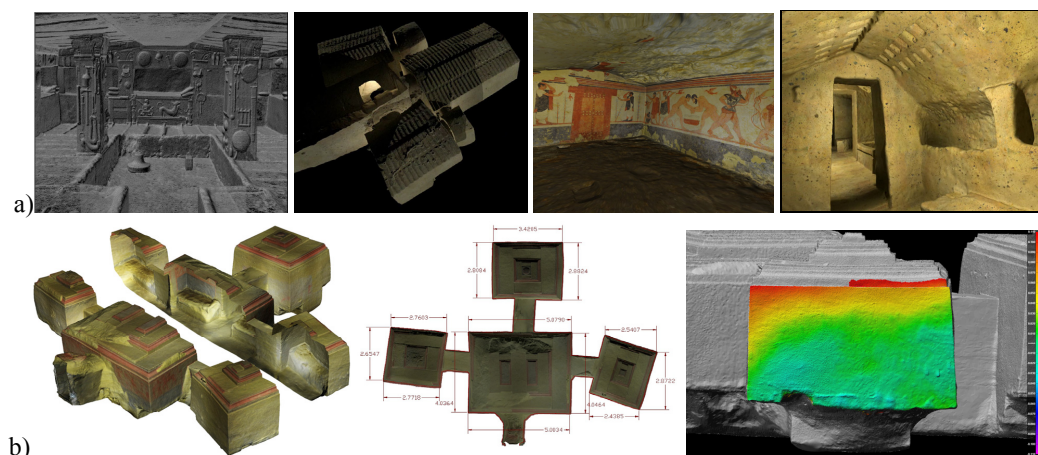


Figura 2 – Modelli 3D con e senza texture di alcune tombe etrusche rilevate con strumentazione laser scanner (a). Modello 3D esploso, planimetria e calcolo dell'ortogonalità di una parete per la Tomba della Scimmia di Chiusi (b).

A partire dalle immagini e dai modelli 3D delle tombe, sono stati anche realizzati dei tour virtuali interattivi all'interno delle necropoli (Figura 3). La soluzione, basata su immagini panoramiche e sviluppata ad hoc in vista della mostra multimediale itinerante "Etruschi in Europa", permette da una parte di poter visitare "virtualmente" luoghi altrimenti distanti o inaccessibili al pubblico per ragioni di protezione e conservazione, dall'altra di avere accesso ad informazioni aggiuntive che facilitano ed arricchiscono la fruizione dei contenuti multimediali. All'interno di ogni tour virtuale sono stati integrati panorami reali e sintetici (ottenuti dai modelli 3D). In questo modo il visitatore può agilmente percepire lo stato attuale di conservazione delle necropoli, ma anche goderne una visione tridimensionale stereoscopica mediante l'uso di occhiali anaglifi.



Figura 3 – Esempi dal virtual tour della necropoli della Banditaccia a Cerveteri. Diversi panorami ad alta risoluzione sono collegati tra loro permettendo una coinvolgente navigazione del sito, in particolare per le aree chiuse al pubblico per motivi di conservazione. Informazioni aggiuntive (testo, immagini, video, ecc) sono visualizzabili attraverso punti di accesso vincolati.

GIS 3D in Copan

Il progetto Copan3D ha analizzato l'integrazione, gestione, visualizzazione e fruizione online di dati geo-spaziali, con particolare riferimento al settore dei beni archeologici (Agugiario et al., 2011a)

Il caso di studio è rappresentato dalla città Maya di Copan (Honduras), che per vastità e per complessità di strutture architettoniche e reperti presenti – oltre che per la varietà, eterogeneità ed abbondanza di dati raccolti ed acquisiti nel tempo – rappresenta un esempio concreto delle problematiche sopra esposte. Il progetto ha creato un prototipo per la fruizione on-line (visualizzazione ed interazione 3D) di modelli tridimensionali associati a informazioni testuali e visive. Constatata l'assenza di soluzioni software esistenti che potessero soddisfare i requisiti del progetto, si è proceduto a sviluppare un'applicazione ad hoc, con la definizione di strutture di dati adeguate, la realizzazione di molteplici livelli di dettaglio (LoD) geometrico, la scelta di piattaforme per la gestione online dei dati (database relazionali spaziali) e lo sviluppo di una piattaforma per l'interazione, consultazione e visualizzazione.

Nell'applicazione, chiamata QueryArch3D (Figure 4 e 5), i modelli geometrici sono stati organizzati in LoD successivi per permettere la gestione delle informazioni geometriche a risoluzione diversa. Modelli a bassa risoluzione sono presentati nel LoD1; LoD2 contiene, laddove esistenti, modelli a più alta risoluzione (ma solo l'esterno), mentre il LoD3 contiene anche l'interno degli edifici. Infine il LoD4, contiene modelli geometrici ad alta risoluzione prodotti con laser scanner o fotogrammetria terrestre. La scelta di quale LoD visualizzare avviene in modo automatico, in base alla distanza dell'osservatore dall'oggetto visualizzato.

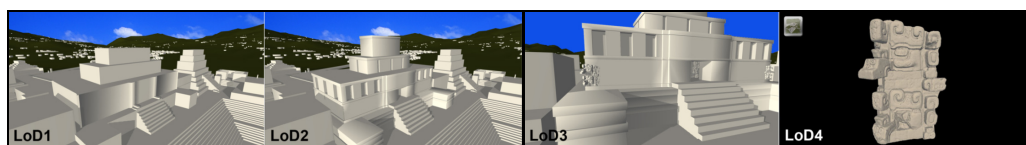


Figura 4 – LoD successivi di modelli multi-risoluzione relativi ad un tempio Maya in Copan: modelli prismatici (LoD1), modelli 3D più dettagliati ma con solo gli esterni (LoD2), modelli con alcuni dettagli architettonici (LoD3) e modelli ad alta risoluzione geometrica (LoD4).

Per la fruizione dei dati, grazie al collegamento con un database esterno, l'utente può selezionare alcuni oggetti sulla base di attributi (storici, geografici o archeologici), oppure può ottenere informazioni specifiche su un determinato oggetto con un click su di esso. La quantità di informazioni ottenute, così come il livello di dettaglio visualizzato, dipendono dal LoD attivo, permettendo così una maggiore granularità nel livello di informazioni fornite. L'esempio riportato si riferisce al contesto della città Maya di Copan, ma il modello concettuale sottostante, la struttura definita per la base di dati e gli strumenti di visualizzazione ed interrogazione sono facilmente utilizzabili anche in altri contesti simili.

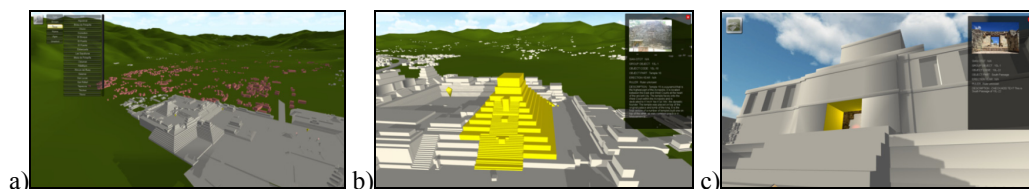


Figura 5 – Esempio di visualizzazione online e navigazione interattiva di modelli 3D complessi (a). Selezione di alcuni oggetti sulla base di attributi e ricerca di informazioni specifiche su un determinato oggetto mediante clic su di esso (b, c).

Testfield Trento

L'area della città di Trento e le zone circostanti sono caratterizzate da un'ampia variabilità di altimetria e di uso del terreno: in poche centinaia di metri si può passare da aree densamente urbanizzate come quelle del centro storico, ad aree scoscese completamente coperte di vegetazione poste a parecchie decine di metri più in quota.

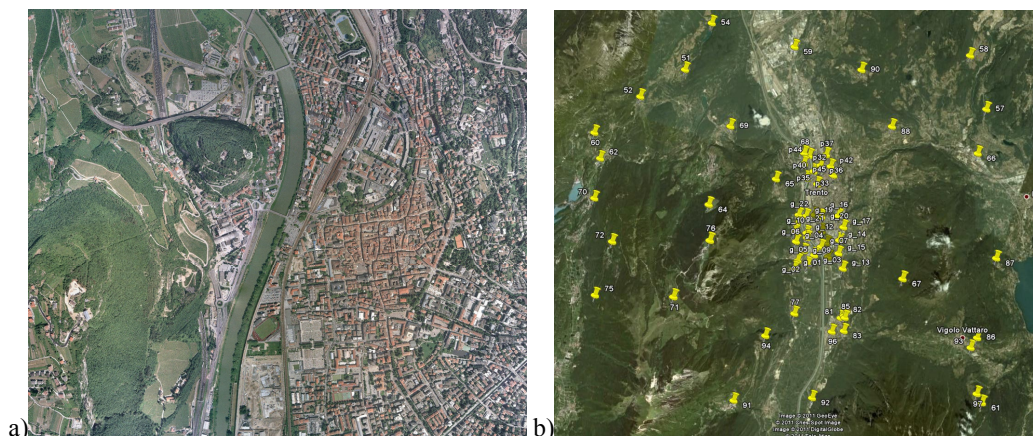


Figura 6 – Vista parziale dell'area testfield sopra Trento dove sono state raccolte immagini aeree e satellitari a risoluzione geometrica e temporale diversa (a). Rete di punti di controllo sopra il testfield (b).

Proprio per questo, tale area (Figura 6a) è sembrata idonea come area test, sulla quale validare nuovi strumenti, algoritmi e metodologie di processamento di immagini UAV, aeree e satellitari. Nel tempo sono state acquistate o ricevute dalla Provincia Autonoma e dal Comune di Trento, dati LiDAR, immagini aeree a differenti risoluzioni (geometriche e temporali) ed immagini satellitari.

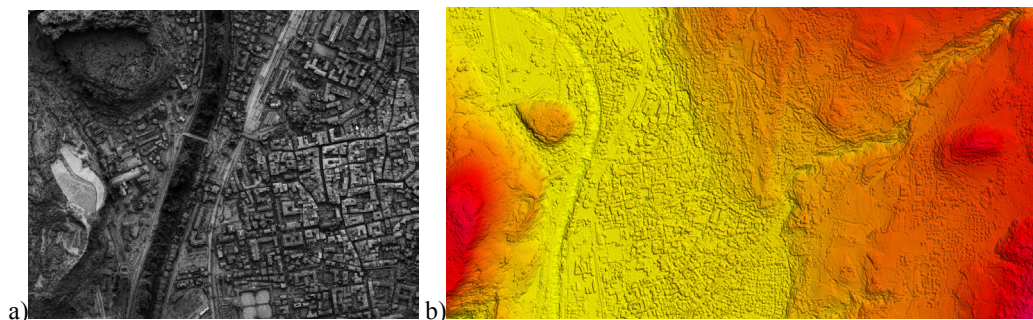


Figura 7 – DSM generati da immagini aeree (a) e da WorldView-2 (b).

La geo-referenziazione di questi dati è stata resa possibile grazie alla realizzazione di una rete di punti di appoggio che si estende su gran parte del territorio provinciale (Figura 6b).

Grazie a questi set di dati, è stato possibile iniziare progetti di ricerca sulla generazione automatica di modelli digitali (Figura 7) e sull'estrazione di *feature* di interesse (strade, edifici, vegetazione, ecc.) nonché definire metodologie di valutazione del potenziale fotovoltaico di un'area urbanizzata.

Potenziale fotovoltaico dei tetti

L'obiettivo del progetto di ricerca è la stima del potenziale fotovoltaico dei tetti di edifici, ipotizzando che tutta la superficie sia coperta da pannelli (Agugiaro et al., 2011b). Esistono oggi strumenti e piattaforme che permettono la stima a scala territoriale del potenziale fotovoltaico di un determinato sito (p.e. SOLEMI, SoDa, PVGIS), ma i valori stimati di massima produzione annuale di energia sono disponibili su base raster con risoluzione molto basse (ad esempio PVGIS fornisce valori ad un 1 km di risoluzione). Esistono anche lavori che si concentrano di più sul riconoscimento, la segmentazione, la modellazione e l'analisi di tetti da nuvole di punti molto dense relative a piccole zone residenziali e che pertanto trascurano (se presente) l'orografia circostante, il cui ombreggiamento viene eventualmente inglobato in opportuni coefficienti di correzione atmosferica (p.e. il CSI, Clear Sky Index).

Si è voluto pertanto identificare e testare una metodologia "ibrida" che si ponga idealmente a metà strada tra i due approcci accennati precedentemente e che combini dati che variano dalla scala regionale a quella architettonica, al fine di considerare l'ombreggiamento dovuto sia alla morfologia del territorio che agli edifici circostanti. Come area di studio si è scelta un'area nel comune di Trento (Mattarello), che per posizione e caratteristiche orografiche ben si presta a questo tipo di analisi. Particolare attenzione è stata dedicata ai diversi risultati ottenuti nella modellazione 3D dei tetti, al fine di capire quali dati di partenza meglio si addicono in termini non solo di accuratezza, ma anche di risorse e tempi di elaborazione richiesti (computazionali ed umani). I tetti delle case sono stati ricostruiti (Figura 8) con approcci diversi (estrazione da dati vettoriali catastali, restituzione 3D automatica e manuale da immagini aeree, rilievo LiDAR) e risoluzioni geometriche diverse (1 m e 25 cm) e infine integrati all'interno del DTM della zona di studio. La metodologia di calcolo, sviluppata in ambiente Grass GIS, ha fornito, per ogni edificio e per ogni modello 3D, la stima del valore mensile medio di radiazione solare incidente (in Wh/m²/d). I valori sono poi stati plottati e confrontati, in base al modello di provenienza ed alla categoria dell'edificio (residenziale o industriale). È stato pertanto possibile includere nei risultati e quantificare l'effetto dell'ombreggiamento dovuto all'orografia circostante ed è stato possibile ottenere stime a livello di singolo edificio, passando dai valori con passo di griglia di 1 km precedentemente disponibili per l'area di Trento mediante PVGIS a mappe di radiazione incidente con risoluzione di 1 m o migliore. Per l'area di studio, ad esempio, la differenza tra le stime di radiazione diretta con e senza l'inclusione dell'ombreggiamento delle montagne circostanti può arrivare fino all'8% su base annuale, con punte del 38% nei mesi invernali per alcuni edifici.

Il confronto dei risultati ottenuti con i vari modelli geometrici dei tetti ha permesso inoltre di trarre delle prime conclusioni su quali modelli usare. Per l'area di test si è visto, per esempio, che per edifici industriali, generalmente di dimensioni maggiori e dalla semplice geometria, le stime che si ottengono usando modelli prismatici a tetto piatto non si discostano sostanzialmente da quelle ottenute con modelli geometricamente più dettagliati (ma più onerosi da ottenere). Per gli edifici residenziali, invece, questa semplificazione non è più possibile, la peculiare geometria di ogni tetto incide nelle stime dei valori di radiazione incidente, per cui la sovrastima ottenuta con i modelli piani dei tetti da dati catastali non può essere trascurata rispetto ai valori ottenuti utilizzando modelli di tetti da dati LiDAR o fotogrammetria. I risultati, che verranno estesi a tutta la città di Trento, sono un'utile informazione al fine della gestione e della pianificazione delle risorse (umane e computazionali) da investire nel progetto.

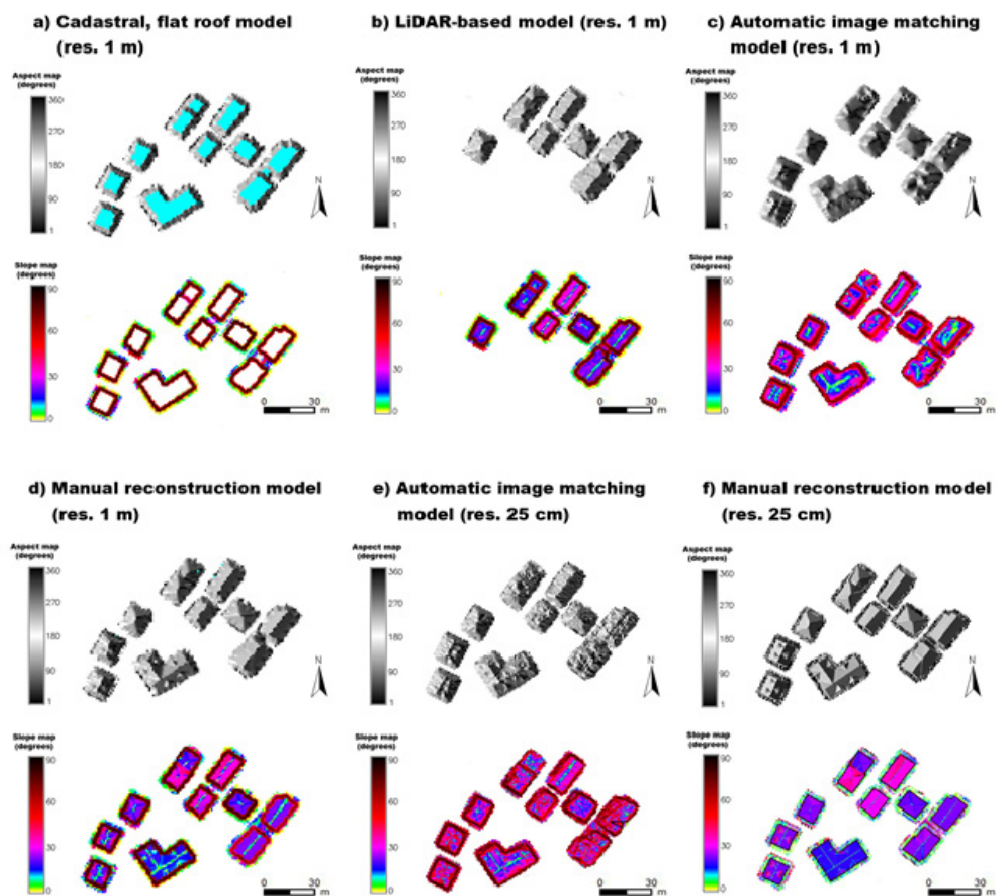


Figure 8 – Mappe raster di esposizione (aspect) e di pendenza (slope) ottenute rasterizzando differenti modelli geometrici dei tetti creati con: a) cartografia catastale (tetti piani), b) DSM da dati LiDAR, c-e) matching automatico di immagini aeree, d-f) restituzione manuale da immagini aeree.

Rilievo e modellazione 3D con piattaforme UAV

Negli ultimi anni si è avuto un forte incremento ed utilizzo di piattaforme UAV (droni) per l'acquisizione di immagini aeree ad alta risoluzione (basse quote) in maniera rapida e veloce. Tali strumenti sono comunemente utilizzati per diverse finalità quali ad esempio rilievi archeologici, indagini geologiche e geotecniche, *precision farming*, studi sull'efficienza energetica (dispersioni termiche) di edifici o impianti, monitoraggio, ecc. Il successo di queste piattaforme è principalmente da imputare alla rapidità e all'economicità (se comparate ai tradizionali voli fotogrammetrici) con cui sono eseguiti i voli e alla maggior completezza dell'informazione ottenibile rispetto alla sola acquisizione terrestre. Il trattamento in maniera rapida ed efficace di queste immagini è ancora una questione aperta, poiché i problemi da affrontare variano notevolmente a seconda delle condizioni operative in cui si lavora, della tipologia del drone, dalla camera utilizzata e dall'obiettivo del rilievo. Per questi motivi, capita sovente che queste immagini siano utilizzate per meri scopi puramente documentativi e di visualizzazione, senza giungere all'estrazione di dati metrici. 3DOM ha sviluppato una metodologia di trattamento delle immagini acquisite da piattaforme UAV per derivare informazioni metriche (modelli di superficie, ortofoto,

etc.) in tempi brevi (Remondino et al., 2011b). L'affidabilità degli algoritmi utilizzati ha fino ad oggi permesso di ottenere risultati confacenti le aspettative in diverse applicazioni quali, ad esempio, rilievi di scavi archeologici (Figure 9 e 10), monitoraggio di frane e subsidenza, studi di coltivazioni, ecc. Per far fronte ai problemi citati si sono impiegate procedure il più possibile flessibili, in modo da potersi adattare al maggior numero di situazioni e applicazioni. Al momento sono sempre necessari dei punti a terra per la georeferenziazione poiché le coordinate dei centri di presa fornite dai sistemi di navigazione (GNSS/INS) non permettono di effettuare un orientamento diretto del blocco di immagini. In futuro, l'uso di strumenti di posizionamento più precisi, lo sfruttamento di computer sempre più prestanti e l'uso delle GPU (*Graphics Processing Unit*) o calcolo parallelo, potrebbero ulteriormente velocizzare l'intero processo di restituzione permettendo di ottenere risultati quasi in tempo reale.



Figura 9 – Area archeologica di Pava (Siena) rilevata con un UAV Microdrone MD4-200 e DSM generato con tecniche automatiche di image matching.

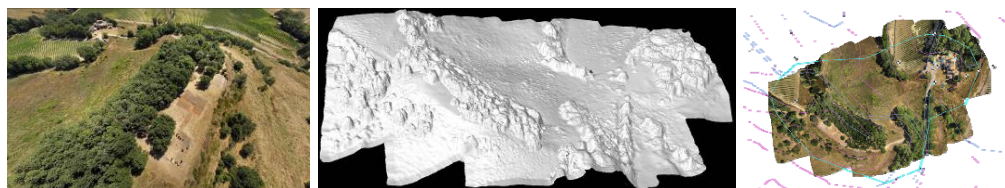


Figura 10 – Modello digitale della superficie, ortofoto e curve di livello dell'area archeologica vicino a Montalcino.

La regolamentazione della navigazione degli UAV in Italia come in altri paesi, per quanto ancora in via di definizione, potrebbe permettere l'uso di tali strumenti anche su zone urbanizzate, ampliando ulteriormente il numero delle applicazioni per cui sono utilizzati questi strumenti.

Texture mapping automatico

Il *texturing* è un processo fondamentale all'intero del flusso di generazione di modelli 3D foto-realistici poiché consente di fondere assieme l'informazione radiometrica al modello geometrico in forma di superficie poligonale. Un modello 3D con *texture* è in genere il prodotto finale della procedura di modellazione, utilizzabile per scopi di visualizzazione, analisi visive e ambienti di realtà virtuale o aumentata ma è anche un punto di partenza per la produzione dei classici prodotti geomatici bidimensionali. Al contempo la realizzazione di modelli 3D foto-realistici è sicuramente uno dei passi più dispendiosi da un punto di vista computazionale. In particolare, se le immagini non sono orientate, l'individuazione delle corrispondenze tra la geometria 3D e l'informazione colorimetrica sulle immagini 2D (RGB, infrarosso, ultravioletto, ecc.) risulta un'operazione lunga e difficile, specialmente per modelli di grandi dimensioni e alto livello di dettaglio. Le procedure manuali implementate nei software commerciali richiedono operatori esperti e soprattutto non sono praticabili quando il numero di immagini da mappare è elevato. In letteratura scientifica sono stati proposti alcuni approcci (semi- o completamente automatici) ma finora testati su oggetti di dimensioni limitate e spesso di semplici forme geometriche.



Figura 12 – Modellazione 3D con laser scanner e texturing automatico. Dato geometrico (a) e modello finale texturizzato usando circa 60 immagini (b).

E' stata pertanto sviluppata una procedura completamente automatica per il *texturing* di modelli 3D complessi utilizzando immagini dotate o non di orientamenti interni ed esterni. Il metodo è applicato a mesh poligonali con normali orientate o nuvole di punti con informazioni sull'orientamento delle normali locali. La procedura di mappatura automatica delle immagini è basata sui seguenti passi:

1. estrazione automatica di *tie points* tra i set di immagini da mappare;
2. bundle adjustment con o senza determinazione dei parametri di calibrazione della camera per la determinazione degli orientamenti esterni e delle coordinate 3D dei *tie points*;
3. registrazione ICP tra la nuvola sparsa derivata dal bundle adjustment e la mesh poligonale;
4. determinazione delle migliori immagini considerando occlusioni, scala immagine e angoli di vista;
5. mappatura dell'informazione radiometrica utilizzando le equazioni di collinearità.

La procedura è flessibile e affidabile anche in caso di scene complesse (Figure 11 e 12). Nel caso in cui i parametri di orientamento esterno sono noti a priori, i passi 1-3 non vengono eseguiti.

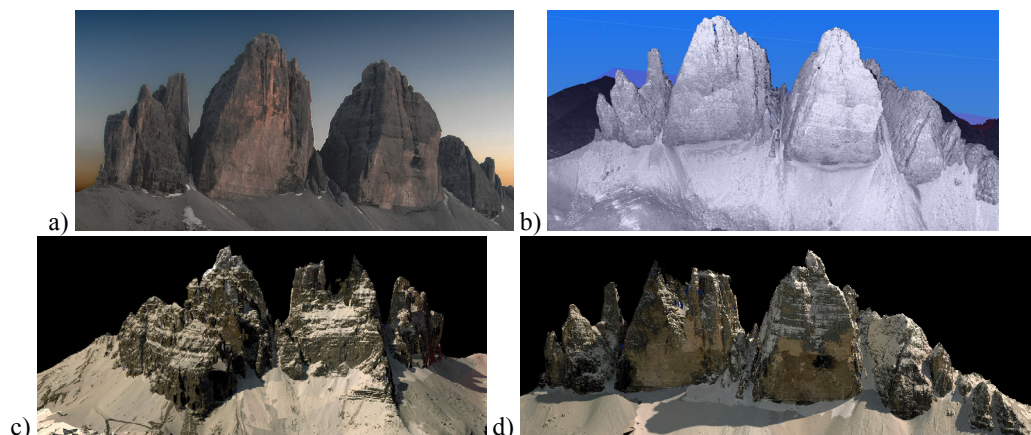


Figura 11 – Rilievo e modellazione 3D delle 3 Cime di Lavaredo (a) tramite LiDAR da elicottero. Dato geometrico (b) e modello finale texturizzato con 84 immagini (c, d).

Conclusioni

L'articolo ha rivisto le principali tecniche di rilievo e modellazione 3D nel campo della geomatica e ha poi presentato alcuni esempi di progetti in essere presso l'unità di ricerca 3DOM di FBK Trento. Le potenzialità dei modelli 3D sono oggi innumerevoli a patto che il dato 3D sia metrico e accurato. Applicazioni come il monitoraggio e la protezione del territorio, documentazione e conservazione dei beni culturali, city modeling, pianificazione e gestione territoriale sono tematiche sempre più importanti sia in ambito scientifico che governativo. La geomatica, e più nello specifico, il rilievo fotogrammetrico o laser scanner, possono fornire il giusto supporto tecnico al fine di pianificare, decidere e agire in maniera corretta e migliore.

Bibliografia

Agugiaro, G., Remondino, F., Girardi, G., Von Schwerin, J., Richards-Rissetto, H., De Amicis, R., 2011a, "A web-based interactive tool for multi-resolution 3D models of a Maya archaeological site", *IAPRS&SIS*, Vol. 38(5/W16), Trento, Italy (CD-ROM).

Agugiaro, G., Remondino, F., Stevanato G., De Filippi R., Furlanello C., 2011b, "Estimation of solar radiation on building roofs in mountainous areas", *IAPRS&SIS*, Vol. 38(3/W22), Munich, Germany (CD-ROM).

Apollonio, F.I., Corsi, C., Gaiani, M., Baldisini, S., 2010, "An integrated 3D geodatabase for Palladio's work", *International Journal of Architectural Computing*, Vol. 2(8).

Barazzetti, L., Scaioni, M., Remondino, F., 2010, "Orientation and 3D modeling from markerless terrestrial images: combining accuracy with automation", *The Photogrammetric Record*, Vol. 25(132), pp. 356–381.

De Luca, L., Busarayat, C., Stefani, C., Veron, P., Florenzano, M., 2011, "A semantic-based platform for the digital analysis of the architectural heritage", *Computers & Graphics*, Vol. 35(2), pp. 227-241.

El-Hakim, S., Gonzo, L. Voltolini, F., Girardi, S., Rizzi, A., Remondino, F., Whiting, E., 2007, "Detailed 3D modelling of castles", *International Journal of Architectural Computing*, Vol. 5(2), pp. 199-220.

Furukawa, Y., Ponce, J., 2010, "Accurate, dense and robust multiview stereopsis", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI)*, 32(8), pp. 1362-1376.

Guidi, G., Remondino, F., Russo, M., Menna, F., Rizzi, A., Ercoli, S., 2009, "A multi-resolution methodology for the 3D modeling of large and complex archaeological areas", *International Journal of Architectural Computing*, 7(1), pp. 40-55.

Manferdini, A., Remondino, F., 2010, "Reality-based 3D modeling, segmentation and web-based visualisation", *Proc. of Euromed 2010*, LNCS 6436, Springer Verlag, pp. 110-124.

Pierrot-Deseilligny, M., De Luca, L., Remondino, F., 2011, "Automated image-based procedures for accurate artifacts 3D modeling and orthoimage generation", *Proc. of 23th Int. CIPA Symposium*, Prague, Czech Republic.

Pierrot-Deseilligny, M. and Clery, I., 2011, "APERO, An Open Source Bundle Adjustment Software for Automatic Calibration and Orientation of Set of Images", *IAPRS&SIS*, Vol. 38(5/W16), Trento, Italia (CD-ROM).

Remondino, F., El-Hakim, S., 2006, Image-based 3D modelling: a review, *The Photogrammetric Record*, Vol.21(115), pp. 269-291.

Remondino, F., El-Hakim, S., Gruen, A., Zhang, L., 2008: Turning images into 3D models. *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 25(4), pp. 55-64.

Remondino, F., Rizzi, A., Jimenez, B., Aguiaro, G., Baratti, G., De Amicis, R., 2011a, "The Etruscan in 3D – from space to underground", *Proc. of 23th Int. CIPA Symposium*, Prague, Czech Republic.

Remondino, F., Barazzetti, L., Nex, F., Scaioni, M., Sarazzi, D., 2011b, "UAV photogrammetry and 3D modeling – Current status and future perspectives", *IAPRS&SIS*, Vol.38(1/C22), Zurich, Switzerland.

Stamos I, Liu L, Chen C, Woldberg G, Yu G, Zokai S., 2008, "Integrating automated range registration with multiview geometry for photorealistic modelling of large-scale scenes", *Int J. Computer Vision*, Vol. 78(2-3), pp. 237-260.

Vosselman, G., Maas, H-G. (Eds), 2010, *Airborne and terrestrial laser scanning*. CRC, Boca Raton, 318 pp. ISBN: 978-1904445-87-6.

Vu., H. H., Keriven, R., Labatut, P., Pons, J.-P., 2009, "Towards high-resolution large-scale multi-view stereo", *Proc. IEEE Conf. CVPR'09*, pp. 1430-1437.

Analisi anagrafica stazioni qualità dell'aria ed estrazione dei dati per la validazione del modello nazionale MINNI

Gaia Righini (*), Giuseppe Cremona, Antonio Piersanti, Luisella Ciancarella, Massimo D'Isidoro, Mihaela Mircea, Lina Vitali, Irene Cionni, Gabriele Zanini

ENEA, Unità Tecnica Modelli, Metodi e Tecnologie per le Valutazioni Ambientali
Via Martiri di Monte Sole 4, 40129 Bologna
(*) gaia.righini@enea.it

Riassunto

La valutazione e la gestione della qualità dell'aria avvengono utilizzando complesse catene modellistiche che simulano il trasporto e le trasformazioni chimiche degli inquinanti atmosferici.

A livello nazionale l'ENEA, col laboratorio di qualità dell'aria dell'Unità Tecnica Modelli, Metodi e Tecnologie per le Valutazioni Ambientali, fornisce supporto scientifico al Ministero dell'Ambiente nel campo dell'inquinamento atmosferico per lo sviluppo, l'aggiornamento e la validazione di MINNI (Modello Integrato Nazionale a supporto della Negoziazione Internazionale sui temi dell'Inquinamento Atmosferico).

In tale contesto è stato sviluppato un procedimento operativo per la consultazione e l'utilizzo dei dati nazionali di misura di qualità dell'aria, raccolti nella banca dati BRACE, messi a disposizione da ISPRA e organizzati in funzione della regione, dell'anno e dell'inquinante.

La procedura è strutturata attraverso varie fasi di lavoro in ambiente GIS:

- 1) Raccolta delle informazioni di anagrafica sulle stazioni di misura della qualità dell'aria: coordinate geografiche, tipologia della zona, tipologia della stazione, inquinanti misurati, periodo di attivazione. Tali informazioni sono state raccolte tramite le ARPA e la banca dati nazionale BRACE e accuratamente verificate per risolvere lacune ed errori di localizzazione.
- 2) Posizionamento delle stazioni con strutturazione delle informazioni anagrafiche e organizzazione degli strati informativi utili sul territorio per la visualizzazione e l'interrogazione immediata per scegliere le misure di qualità dell'aria più opportune per la validazione del modello.
- 3) Creazione di un database relazionale per il collegamento delle tabelle riferite all'anagrafica e al contenuto informativo dei dati BRACE. Tramite l'utilizzo del codice identificativo unico per ogni stazione è possibile l'associazione con il contenuto "inquinante-anno" per la lettura del file dei dati contenente le misure.

Il database ASQUA (Anagrafica Stazioni della Qualità dell'Aria) così strutturato rappresenta un contributo fondamentale per la conoscenza della distribuzione dell'inquinamento e per la validazione delle simulazioni modellistiche; è stato possibile, infatti, interrogare il database per l'estrazione del dato misurato e il suo confronto spaziale immediato con gli *output* derivati dalla *suite* modellistica di riferimento.

Abstract

Integrated Assessment Modelling Systems are used to simulate the fate and transport of atmospheric pollutants in support of air quality evaluation and monitoring. ENEA, with its air quality laboratory of the Technical Unit on Models, Methods and Technologies for the Environmental Assessment, is a primary actor for air quality evaluation using MINNI, the Italian Integrated Assessment Modelling System for supporting the International Negotiation Process on Air Pollution and assessing Air

Quality Policies at national/local level, sponsored by the Italian Ministry of the Environment. In this framework, an operational procedure was developed to make measured data of atmospheric pollutants available and usable for the validation and the implementation of the model. The information, stored at national level, have been collected, organized and managed in GIS environment according to their location and characteristics. A link was established among each monitoring station with the corresponding air quality measurements in order to obtain valuable information for the validation of the MINNI integrated modeling system over Italy.

Introduzione

Il laboratorio di qualità dell'aria dell'Unità Tecnica Modelli, Metodi e Tecnologie per le Valutazioni Ambientali dell'ENEA si occupa di valutazione e gestione della qualità dell'aria utilizzando il modello nazionale MINNI (Modello Integrato Nazionale a supporto della Negoziazione Internazionale sui temi dell'Inquinamento Atmosferico, www.minni.org ) in grado di simulare a scala nazionale, su lungo periodo (tipicamente un anno), le concentrazioni e le deposizioni (secche e umide) dei principali inquinanti atmosferici (Zanini et al., 2005; Zanini et al., 2010). MINNI si propone di fornire all'Italia un valido strumento di supporto tecnico scientifico al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare per l'analisi delle politiche di riduzione delle emissioni inquinanti. Parte integrante di tale attività è la validazione della complessa *suite* modellistica tramite il confronto dei risultati modellistici con i dati di monitoraggio registrati dalle stazioni della qualità dell'aria sparse su tutto il territorio nazionale, la gestione delle quali è assegnata ai diversi organismi titolari, a livello locale, delle informazioni sulla qualità dell'aria (ARPA, Regioni, Province, Comuni, Enti privati). Le informazioni sulle reti, sulle stazioni e sui sensori di misura utilizzati per il monitoraggio della qualità dell'aria e i relativi dati di concentrazione degli inquinanti sono raccolti nella banca dati nazionale BRACE, Banca dati Relazionale Aria Clima Emissione, (Caricchia et al., 2003; ISPRA, 2010) (<http://www.brace.sinanet.apat.it/>), gestita da ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale). Essa era nata dall'esigenza di adempiere alla normativa europea e nazionale in tema di qualità dell'aria e di comunicare informazioni sulla qualità dell'aria alla Commissione Europea e all'Agenzia Europea per l'Ambiente.

La necessità di visionare, spazializzare e tematizzare il dato di BRACE ci ha portati a creare un database geo-relazionale chiamato ASQUA (Anagrafica Stazioni per la Qualità dell'Aria): questo ha lo scopo pratico di raccogliere in un unico oggetto le informazioni geografiche e di ubicazione e quelle riguardanti le caratteristiche intrinseche legate al tipo di zona in base alla densità abitativa (urbana, suburbana, rurale) e al tipo di stazione in base all'emissione prevalente (fondo, traffico, industriale). Successivamente, lo sviluppo di un legame diretto tra ASQUA e l'estrazione e visualizzazione dei dati di misura ha permesso di rendere più agevoli le operazioni di validazione delle simulazioni modellistiche.

Il database ASQUA

La prima fase di lavoro ha visto la raccolta capillare delle informazioni di anagrafica sulle stazioni di misura della qualità dell'aria presenti su tutto il territorio nazionale: coordinate geografiche, tipologia della zona, tipologia della stazione, inquinanti misurati, periodo di attivazione/disattivazione, modifiche effettuate e specificità locali. Per avere le informazioni ci siamo rivolti in prima istanza alle amministrazioni locali preposte, in maggioranza le ARPA, o in seguito le abbiamo estratte direttamente dal database BRACE solo nel caso in cui non fossero disponibili altrimenti: le ARPA garantivano infatti il maggiore aggiornamento e la massima attendibilità dell'informazione, in quanto proprietarie del dato originario. La Figura 1 illustra il quadro di insieme sulla provenienza di tali informazioni. Le indicazioni ottenute sono state singolarmente verificate per risolvere lacune ed errori di localizzazione ottenendo così una selezione di qualità, soprattutto sulla base dell'accuratezza spaziale, escludendo per esempio stazioni ricadenti fuori dal comune di appartenenza o evidenti errori di omissione. Il

posizionamento geografico delle stazioni è avvenuto uniformando i diversi sistemi geografici di provenienza verso la scelta di un sistema geografico univoco di riferimento: UTM WGS84 zona 32N. Sono risultate mappate 1081 stazioni di misura distribuite su tutto il territorio nazionale con prevalenza di concentrazione nel Nord Italia (Figura 2). Circa 30 stazioni censite non sono state inserite nel database perché non è stato possibile correggere gli errori di posizionamento.



Figura 1 – Provenienza delle informazioni anagrafiche delle stazioni di misura.



Figura 2 – Distribuzione delle 1081 stazioni del database ASQUA sul territorio italiano.

È seguita la fase di progettazione del database passando da un livello concettuale al livello logico. Data la disomogenea organizzazione dei dati a causa delle diverse amministrazioni di provenienza, si è proceduto ad un'armonizzazione delle informazioni e dei campi all'interno di un database relazionale in cui è stata definita come chiave primaria univoca il campo "CODICE stazione" preesistente in BRACE, che è diventato la chiave di unione delle varie tabelle. Ai records delle stazioni non appartenenti a BRACE ma importanti per un loro possibile utilizzo futuro, è stato assegnato codice 0 e sono stati mantenuti nel database per non perdere le informazioni acquisite.

Le tabelle del database sono state organizzate in due gruppi principali (Figura 3): quelle contenenti informazioni di anagrafica con le varie tipologie e i metadati, e quelle contenenti i dati di misura raccolti in base ai diversi inquinanti considerati e rispetto ai vari anni di monitoraggio.

Una particolare attenzione è stata necessaria per stabilire l'associazione tra il "CODICE stazione" dell'anagrafica e il nome del file presente in BRACE contenente i valori misurati da una specifica stazione. Infatti, mentre il codice identificativo della stazione è di tipo numerico, il file contenente le misure, per anno e per inquinante, è individuato da un nome alfanumerico composto dove compare il nome della regione, l'inquinante, l'anno e il nome assegnato alla stazione. È stata quindi costruita una tabella associativa, denominata "FILE_DATI", per mettere in relazione il codice stazione col nome file alfanumerico, interrogando le tabelle già prodotte con una *query* in cui compare sia il codice che il nome della stazione associato alla regione di appartenenza.

	Nome Tabella	Descrizione
ANAGRAFICA	ASQUA_OK	Feature principale contenente le stazioni considerate valide di tutta Italia provenienti dalle banche dati informative di ISPRA (DB BRACE) o dalle varie banche dati delle ARPA regionali.
	ASQUA_KO	Feature principale contenente le stazioni considerate non valide di tutta Italia provenienti da banche dati informative sia di ISPRA (DB BRACE) che delle ARPA regionali.
	TIPO_ZONA	Tabella contenente le informazioni sul tipo di stazione di misura (traffico, industriale, fondo) e sulla sua zona di appartenenza (urbana, suburbana, rurale).
	COORDINATE	Tabella contenente sia le coordinate e che le quote delle stazioni nei sistemi di riferimento: WGS84UTM32 (metrico) e WGS84 (gradi decimali).
DATI MISURATI	FILE_DATI	Tabella associativa che permette di accedere, tramite il "CODICE STAZIONE" di BRACE, al "NOME FILE" contenente le misure per un dato inquinante in un dato anno.
	INQUINANTI_2002	Tabelle contenenti, per ogni stazione, l'informazione sui sensori-inquinanti usati per singolo anno.
	INQUINANTI_2009	
	INQUINANTI_PERIODO	Tabella contenente, per ogni stazione, l'informazione sul periodo di attività di ogni sensore per inquinante.

Figura 3 – Tabelle del database ASQUA.

In Figura 4 è rappresentata la struttura relazionale del database ASQUA, dove compaiono le varie tabelle con i loro campi associati.

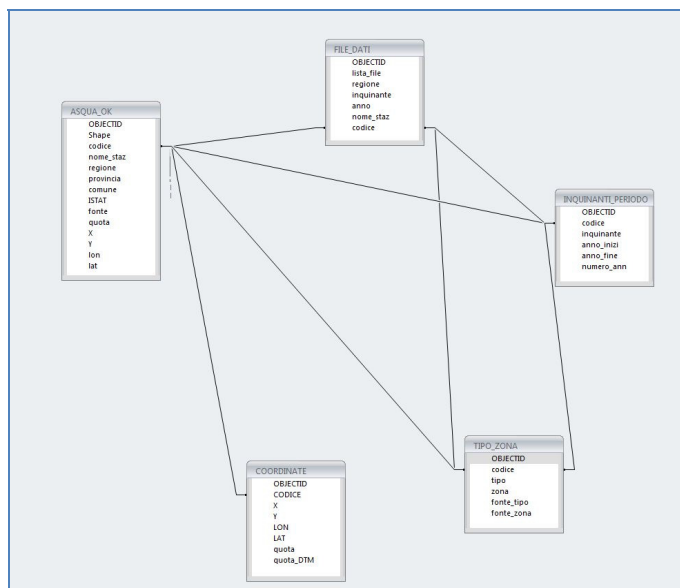


Figura 4 – Esempio di relazioni in ASQUA.

Una volta individuato il file contenente le misure di interesse è possibile collegarsi ad una procedura sviluppata *ad hoc*, realizzata tramite scripts di *shell*, che permette l'estrazione e la rappresentazione grafica dei dati di misura attraverso una serie strutturata di passaggi sequenziali:

- lettura tabelle da ASQUA con selezione stazione e tipologia dati di interesse;
- accesso alle misure delle singole stazioni gestite a livello nazionale;
- estrazione secondo quanto letto da tabella;
- selezione mirata delle misure (minimo numero di records, soglie);
- scrittura dei dati formattati in ASCII;
- plottaggio e visualizzazioni con scripts di *Gnuplot* (www.gnuplot.info) per la visualizzazione grafica delle misure.

Risultati

Partendo dall'anagrafica generale del database ASQUA è possibile formulare varie interrogazioni per avere una visione esauriente della distribuzione e delle caratteristiche di ogni stazione di misura e delle informazioni di monitoraggio raccolte. La sovrapposizione di ulteriori strati informativi permette inoltre di inquadrare tali informazioni nello specifico contesto territoriale contribuendo all'analisi delle condizioni di sviluppo e trasporto degli inquinanti. Sono stati infatti considerati la copertura del territorio, CORINE land cover aggiornato al 2006, il modello digitale del terreno derivato dalle riprese SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) con risoluzione di 90 metri, l'idrografia e l'aggiornamento ISTAT 2010 per i grafi stradali, le città e i limiti amministrativi.

Tale analisi costituisce un passaggio fondamentale per l'attività di validazione modellistica in quanto permette di focalizzare l'analisi in funzione della presenza di misurazioni e del contesto territoriale per il confronto integrato e l'analisi delle *performances* del modello.

In Figura 5, ad esempio, sono state selezionate le centraline con tipologia di fondo rurale presenti nel territorio nazionale; queste possono essere successivamente selezionate, utilizzando la relazione con le tabelle INQUINANTE_ANNO, in base alla presenza di monitoraggio continuo per uno specifico inquinante in un determinato anno di interesse, come illustrato in Figura 6 sul tematismo di copertura del territorio.

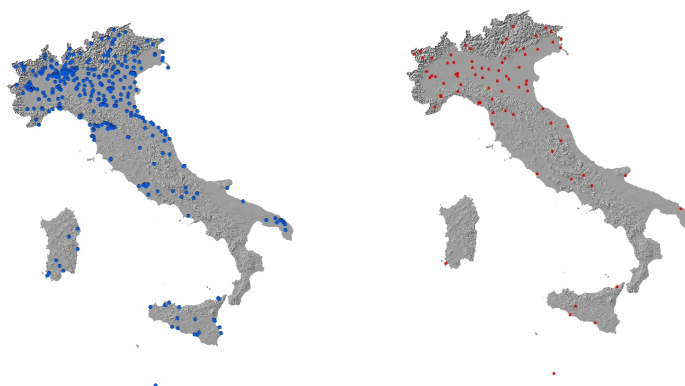


Figura 5 – Esempio di selezione di stazione di fondo (sinistra) e di fondo-rurale (destra).

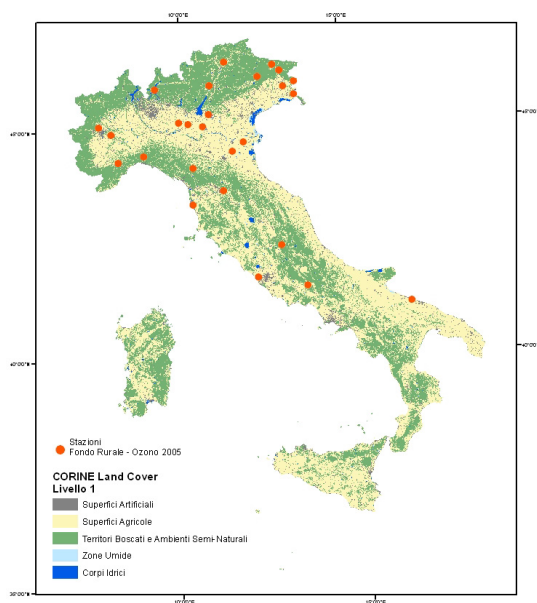


Figura 6 – Selezione delle stazioni di fondo rurale che hanno misurato l'ozono nell'anno 2005.

Il successivo collegamento al *file* delle misure, contenente le concentrazioni orarie rilevate per ciascun inquinante in un determinato anno, permette il confronto con i campi simulati dal sistema modellistico MINNI ed il conseguente calcolo degli indici statistici di *performance*.

La visualizzazione diretta del campo simulato e delle concentrazioni misurate in stazioni di interesse è stata già sperimentata in un differente contesto (Figura 7, da Briganti et al. 2010) precedentemente alla creazione di ASQUA, ed è attualmente in fase di implementazione in ambiente GIS.

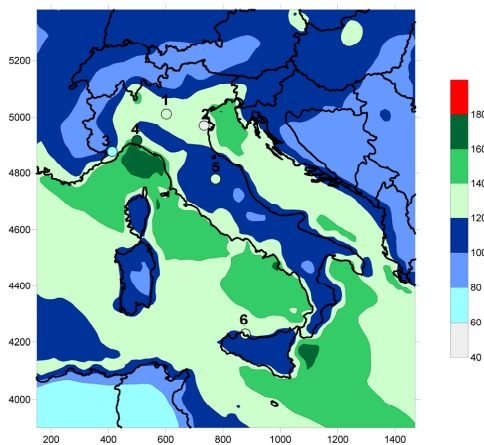


Figura 7 – Confronto della media mensile, di luglio 1999 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dei massimi giornalieri calcolati sulle medie mobili di 8 ore delle concentrazioni di ozono osservate alle stazioni numerate da 1 a 6 e simulate da MINNI (Briganti et al. 2010).

Conclusioni

Il database relazionale ASQUA costituisce la base informativa di partenza per lo studio e l'analisi dei dati di monitoraggio della qualità dell'aria. Esso risponde all'esigenza di avere uno strumento operativo per la consultazione delle informazioni utili alla caratterizzazione delle stazioni di monitoraggio e dei dati di misura degli inquinanti, raccolti e gestiti da ISPRA su tutto il territorio nazionale (database BRACE).

Sono state infatti strutturate, in maniera organica per la gestione e l'aggiornamento in ambiente GIS, le informazioni utili alla caratterizzazione delle stazioni e delle reti di monitoraggio unitamente ai dati elementari sugli inquinanti misurati; è inoltre stata attivata una procedura specifica per l'estrazione diretta delle misure raccolte al livello nazionale.

L'interrogazione del database per l'estrazione del dato misurato ha agevolato le operazioni di validazione del modello nazionale di qualità dell'aria MINNI, permettendo un rapido confronto spaziale delle misure con gli *output* derivati dalla *suite* modellistica.

Ringraziamenti

Questo lavoro è stato realizzato nell'ambito del progetto MINNI, finanziato dal Ministero dell'Ambiente per la Tutela del Territorio e del Mare e condotto da ENEA per l'Accordo di programma ENEA-Ministero dell'Ambiente per la Tutela del Territorio e del Mare 2008-2011.

Riferimenti bibliografici

Briganti G., Cappelletti A., Mircea M., Pederzoli A., Vitali L., Pace G., Marri P., Silibello C., Finardi S., Calori G., Zanini G., (2010), "Testing the capability of the MINNI atmospheric modeling system to simulate air pollution in Italy" *13th International Conference on Harmonisation within Atmospheric Dispersion Modelling for Regulatory Purposes* 1-4 June 2010 Paris, France.

Caricchia A.M, Merluzzi L., Scaramella A., Vaccaro L. (2003), “La banca dati nazionale di qualità dell’aria” *Atti della 7a conferenza nazionale delle Agenzie Ambientali L’innovazione al servizio della conoscenza e della prevenzione - Dai sistemi di monitoraggio alla diffusione della cultura ambientale* 24 – 16 Novembre 2003 Milano, Italia.

ISPRA (2010), *Annuario dei dati ambientali 2010* ISBN 978-88-448-04843-1, ISPRA Roma 2010.

Zanini G., Pignatelli T., Monforti F., Vialetto G., Vitali L., Brusasca G., Calori G., Finardi S., Radice P., Silibello C. (2005) “The MINNI Project: An Integrated Assessment Modeling System For Policy Making”, In Zerger, A. and Argent, R.M. (eds) *MODSIM 2005 International Congress on Modelling and Simulation. Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand*, December 2005, pp. 2005-2011. ISBN: 0-9758400-2-9.

Zanini G., Mircea M., Briganti G., Cappelletti A., Pederzoli A., Vitali L., Pace G., Marri P., Silibello C., Finardi S., Calori G., (2010) “Modeling Air Quality over Italy with MINNI Atmospheric Modeling System: from Regional to Local Scale”, *Proceedings of 31st NATO/SPS International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and its Application* 27 September - 1 October, 2010 in Torino, Italy.

Il laser scanning terrestre per il rilievo e l'analisi di Beni Architettonici e Archeologici

Fulvio Rinaudo

Politecnico di Torino, DITAG, Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino
Tel. 0110907659, Fax 0110907699, e-mail: fulvio.rinaudo@polito.it

Riassunto esteso

Il rilievo metrico del Patrimonio Culturale (passaggio obbligato per i rilievi di conoscenza e di monitoraggio del degrado) rappresenta senza dubbio uno degli ambiti applicativi nei quali la tecnologia del laser scanning ha suscitato molto interesse.

La relativa facilità di acquisizione dei dati primari (le nuvole di punti) ha sicuramente influito sulla rapida diffusione di questa tecnologia; parallelamente la notevole complessità morfologica degli oggetti considerati ha reso indispensabile lo sviluppo di applicativi di trattamento dei dati del tutto originali e diversi rispetto a quelli necessari nelle applicazioni territoriali.

Gli oggetti architettonici presentano infatti una elevata quantità di discontinuità geometriche che la tecnica laser scanning non può ovviamente rilevare correttamente obbligando così il rilevatore ad applicare tecniche molto diverse, a seconda del tipo di oggetto da rilevare, per poter estrarre dalle nuvole di punti le linee di discontinuità necessarie per la ricostruzione delle geometrie fondamentali utili per arrivare al risultato finale.

Affrontare il rilievo di un edificio contemporaneo anziché quello di uno in stile Liberty o Barocco comporta evidentemente accorgimenti diversi che difficilmente possono essere standardizzati: solo una grande pratica e l'uso intelligente di opportuni software consentono di giungere ai risultati desiderati.

Notevole influenza sulle tecniche di trattamento hanno anche le finalità del rilievo e la scala nominale che si intende adottare; questo purtroppo è un aspetto che la grande accuratezza oggi fornita dagli strumenti di acquisizione tende a far dimenticare agli utenti meno esperti nel campo della misura che grazie a questa tecnica si sono avvicinati al mondo del rilievo metrico. Ad esempio se un insieme di punti può essere considerato piano alla scala nominale 1:100 questo può non più essere vero alla scala 1:50.

Un altro problema che si presenta sta nel fatto che solitamente le nuvole di punti acquisite con la tecnica laser scanner vengono caratterizzate dalla precisione di misura della distanza che lo strumento utilizzato garantisce: un utente poco esperto non la collega alla precisione con cui gli strumenti misurano gli angoli che definiscono l'assetto spaziale della direzione di misura della distanza e non tiene conto che ogni volta che i punti vengono in qualche modo interpolati, l'algoritmo utilizzato non può che far peggiorare la precisione iniziale. Alla fine si attribuiscono, erroneamente, al modello geometrico finale del rilievo le stesse precisioni della misura.

Inoltre va considerato che allo stato attuale dello sviluppo delle tecniche di trattamento delle nuvole di punti di solito nelle applicazioni ad oggetti di tipo architettonico (e archeologico) la tecnica laser scanner non è autosufficiente ma deve per forza essere integrata dalla fotogrammetria digitale e a volte anche da alcune misure manuali per la definizione dei dettagli nei rilievi a grandissima scala.

Nel rilievo dell'architettura, infine, il trattamento delle nuvole di punti non può prescindere dalla comprensione della conformazione spaziale dell'oggetto del rilievo che, prima di essere misurato, deve essere compreso e interpretato pena il completo fallimento della modellazione geometrica che

consente di passare dall'anonima nuvola di punti a una serie di superfici interconnesse che delimitano gli spazi, vero oggetto del rilievo metrico.

Nonostante queste criticità oggettive, la tecnica laser scanner ha trovato molti campi di applicazione nel rilievo del Patrimonio Culturale che erano con difficoltà o per nulla soddisfatti dalle altre tecniche di rilievo metrico: si pensi al fatto che le prime ortofoto di oggetti architettonici furono rese economicamente possibili proprio grazie al fatto che con la tecnica laser scanner, per la prima volta, i rilevatori hanno avuto a disposizione un modello geometrico tridimensionale di definizione sufficiente attraverso il quale elaborare le tecniche di ortoproiezione di precisione (uso di diverse immagini per la selezione automatica del tono radiometrico utile).

Parallelamente la tecnica laser scanner ha sostituito alcune tecniche di rilievo metrico grazie al notevole risparmio di tempo richiesto dall'acquisizione dei dati.

La tecnica laser scanner può essere considerata ottimale e praticamente autonoma nella definizione dei modelli tridimensionali relativi per tutte le applicazioni di rilievo metrico di oggetti privi di linee di discontinuità o di forma particolarmente complessa quali possono essere:

- le superfici voltate (cupole ellissoidiche o sferiche, volte a botte o a crociera, ecc.) o gli apparati decorativi così diffusi nelle architetture (capitelli, fregi, ornati, ecc.);
- i complessi scultorei di varie dimensioni solitamente caratterizzati da superfici lisce e prive di spigoli e linee di discontinuità evidenti.

Nel caso di edifici e di oggetti contenenti linee di discontinuità è noto che il solo uso del dato laser scanner porta a una sorta di "arrotondamento degli spigoli" che con molta fatica e scarso successo possono essere recuperati da un trattamento delle nuvole di punti. Obbligatorio è in questi casi l'integrazione con altre tecniche di rilievo quali la fotogrammetria digitale, il rilievo celerimetrico e, in alcuni casi, il rilievo manuale.

Nel rilievo del Patrimonio Culturale sia per fini di conoscenza che per fini di analisi e interpretazione dei degradi materici e strutturali grande importanza riveste la possibilità di associare alle informazioni geometriche altri tipi di informazione radiometrica quali quelle derivanti dalle bande del visibile e dell'infrarosso termico. In questi casi l'integrazione con le tecniche fotogrammetriche che consentono di associare ad ogni porzione di superficie corrispondente le corrette informazioni radiometriche è inevitabile al punto che ormai ogni strumento laser scanner prevede in modo diretto o indiretto l'acquisizione delle immagini digitali necessarie alla integrazione della geometria con la descrizione radiometrica delle superfici rilevate.

Bibliografia

Alshawabkeh Y., Haala N. (2004) - *Integration of digital photogrammetry and laser scanning for heritage documentation*. Proceedings of: XXI ISPRS Congress, Istanbul, Turkey.

Becker S., Haala N. (2007) - *Combined feature extraction for façade reconstruction*. In: ISPRS Workshop on Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2007, Espoo, September 12- 14, Finland.

Ardissone P., Bornaz L., Rinaudo F. (2007) - *3D Height Accuracy Survey and modeling for Cultural Heritage documentation and restoration*. In: VAST 2007 - Future technologies to empower heritage professionals, Brighton 26-30 November 2007

Cheng L., Gong J., Chen X., Han P. (2008) - Building boundaries extraction from high resolution imagery and LiDAR data. In: International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Beijing, Vol. XXXVII, Part B3b.

Lingua A., Nex F., Rinaudo F. (2010) - *Integration of Airborne Laser Scanner and multiimage techniques for map production*. Proceedings of SPIE Remote Sensing, Vol. 7831: 1-14. ISSN: 0277-786X.

Applicazioni GIS presso l'Autorità europea per la sicurezza alimentare: monitoraggio delle zoonosi, salute delle piante e degli animali

Francesca Riolo

European Food Safety Authority, Largo N. Palli 5/A, 43100 Parma
Email: francesca.riolo@efsa.europa.eu, Ph: +39 0521 036 629

Sommario

L'Autorità europea per la sicurezza alimentare (EFSA) è stata istituita nel 2002 in seguito ad una serie di crisi alimentari verificatesi alla fine degli anni 90. L'Autorità ha lo scopo di fornire consulenza scientifica indipendente e di comunicare il rischio associato alla catena alimentare fornendo le basi conoscitive fondamentali alla formulazione della legislazione dell'Unione Europea (UE) in materia. L'EFSA assiste la Commissione Europea, il Parlamento Europeo e gli Stati Membri nel prendere tempestive ed efficaci decisioni mirate a migliorare la sicurezza alimentare nell'UE.

L'uso del GIS, dalla sua introduzione nel 2005, ha avuto un ruolo crescente come strumento di supporto nelle valutazioni scientifiche e nella formulazione di opinioni da parte dell'EFSA. Questo articolo illustra alcune applicazioni dei Sistemi Informativi Geografici nel campo del monitoraggio delle zoonosi, salute delle piante e degli animali. In particolare sarà fornita una panoramica sulle applicazioni GIS utilizzate per condividere dati sulla distribuzione geografica di patogeni e vettori di malattie, e per stimare il potenziale di espansione di patologie emergenti e parassiti recentemente introdotti nell'Unione Europea.

Le tecnologie utilizzate all'EFSA sono ArcGIS Desktop e Server, Oracle e SAS.

Abstract

The European Food Safety Authority (EFSA) based in Parma was set up in January 2002, following a series of food crises in the late 1990s, as an independent source of scientific advice and communication on risks associated with the food chain. Requests for scientific assessments are received from the European Commission, the European Parliament and the European Union (EU) Member States. Accordingly, EFSA's advice supports the risk management and policy-making processes aiming to improve food safety in the EU. The use of GIS, starting with its introduction in 2005, has acquired a growing role as a support tool in the scientific assessments and in the production of opinions by the Authority. This article illustrates some application of Geographic Information Systems in the remit of monitoring zoonoses, plant and animal health.

An overview of the GIS applications used to share and visualize data on the geographic distribution of pathogens and disease vectors, and to assess the potential area of spread of emerging diseases and parasites recently introduced in the EU will be provided. Technologies used at EFSA include ArcGIS Desktop and Server, Oracle and SAS.

1.0 Introduzione

L'Autorità europea per la sicurezza alimentare è un'agenzia dell'Unione Europea istituita nel 2002 in seguito ad una serie di crisi alimentari verificatesi alla fine degli anni 90. L'Autorità ha lo scopo di fornire consulenza scientifica indipendente e di comunicare il rischio associato alla catena alimentare fornendo le basi conoscitive fondamentali alla formulazione della legislazione

dell'Unione Europea (UE) in materia. L'EFSA assiste la Commissione Europea, il Parlamento Europeo e gli Stati Membri nel prendere tempestive ed efficaci decisioni mirate a migliorare la sicurezza alimentare nell'Unione Europea. L'EFSA si occupa della sicurezza alimentare umana e animale, nutrizione, salute e benessere degli animali, salute e protezione delle piante. La missione dell'EFSA è fornire consulenza scientifica indipendente e comunicazione del rischio basati sulla migliore e più aggiornata informazione disponibile. Il comitato scientifico dell'EFSA e gli 11 gruppi scientifici dedicati sono costituiti da esperti altamente qualificati e selezionati in base ad una dimostrata eccellenza scientifica nella materia di interesse.

In aggiunta ai gruppi scientifici, il directorato di valutazione del rischio e assistenza scientifica (Risk Assessment and Scientific Assistance Directorate, RASA) dell'EFSA gestisce progetti che riguardano la raccolta di dati a livello europeo, l'identificazione di rischi emergenti e lo sviluppo di metodologie di valutazione del rischio.

Grazie a questa organizzazione i consumatori europei sono tra le categorie di cittadini al mondo più protette ed informate per quanto concerne i rischi associati alla catena alimentare.

L'utilizzo dei Sistemi Informativi Geografici e l'analisi spaziale, dalla sua introduzione nel 2005, ha avuto un ruolo crescente come strumento di supporto nelle valutazioni scientifiche e nella formulazione di opinioni da parte dell'EFSA. I GIS si sono affermati come potenti strumenti per visualizzare, analizzare e meglio comprendere l'informazione concernente l'epidemiologia e la diffusione di malattie e dei fattori che influenzano tali processi come le complesse interazioni spazio-temporali tra le popolazioni ospite, vettore e del patogeno della malattia.

I dati epidemiologici e associata componente spaziale sono salvati in un geodatabase ArcSDE in Oracle, validati utilizzando SAS Enterprise Guide e analizzati, visualizzati e pubblicati in applicazioni web GIS utilizzando ArcGIS Desktop e Server.

Di seguito sarà illustrato il lavoro di alcune unità e gruppi scientifici dell'EFSA in cui i GIS hanno svolto un ruolo fondamentale.

2.0 Gruppi scientifici e applicazioni GIS

2.1 Attività dell'unità di monitoraggio biologico

L'unità di monitoraggio biologico (BIOMO) analizza e riporta dati sugli agenti biologici legati alla catena alimentare (detti anche zoonosi), sulla resistenza agli antibiotici, sui contaminanti microbiologici e sulle epidemie e focolai legati al consumo di cibo. I dati sono inviati dagli Stati Membri all'EFSA sulla base della [Direttiva europea 2003/99/EC](#). La raccolta dei dati avviene mediante un'interfaccia web per l'immissione dei dati o mediante l'invio di file in formato XML. I dati sono disponibili dal 2001 e si riferiscono ad agenti quali *Salmonella*, *Campylobacter*, *Listeria monocytogenes*, *Mycobacterium* responsabile della tubercolosi, *Brucella*, *Yersinia*, *Trichinella*, *Echinococcus*, *Toxoplasma* e *Lyssavirus*.

I risultati delle analisi, tabelle, grafici e mappe concernenti tali dati sono presentati ogni anno in una "Relazione sintetica comunitaria sull'andamento e sulle fonti delle zoonosi, gli agenti zoonotici e epidemie di origine alimentare nell'Unione europea" consultabile sul sito dell'EFSA.

In aggiunta alla raccolta dati annuale una serie di raccolte dati ad-hoc sono svolte al fine di rispondere a quesiti specifici sulla prevalenza di tali patogeni in vari punti della catena alimentare. Anche per questi studi, delle relazioni sintetiche sui risultati delle analisi sono pubblicate e rese disponibili sul sito dell'EFSA.

2.1.1 Applicazione web GIS per il monitoraggio degli agenti biologici

Un'applicazione web GIS personalizzata basata su ArcGIS Server (Javascript API) facilita l'accesso ai dati inviati dagli Stati Membri in base alla Direttiva europea 2003/99/EC e fornisce un modo efficace per visualizzare e comunicare l'informazione nella forma di mappe tematiche, favorendo la possibilità di identificare domande e formulare ipotesi sui pattern e i trend della diffusione degli agenti biologici e le possibili cause (Figura 1).

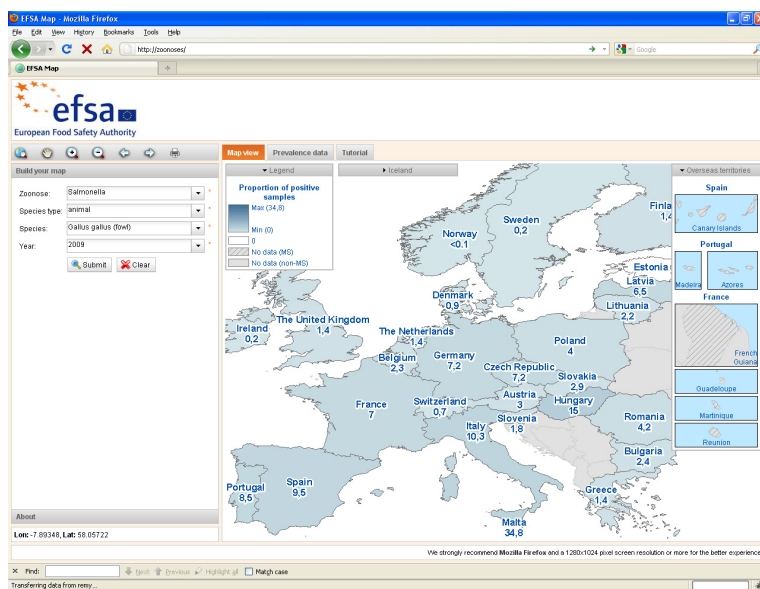


Figura 1 – Applicazione web GIS per la ricerca e visualizzazione di dati concernenti la presenza di agenti biologici legati alla catena alimentare negli Stati Membri dell'Unione Europea e altri Stati partecipanti.

2.1.2 Analisi degli scambi commerciali tra Stati Membri come fattori di rischio per la diffusione della resistenza agli antibiotici

Particolare interesse riveste lo studio degli scambi commerciali tra Stati Membri come fattore di rischio per la diffusione delle zoonosi e della resistenza agli antibiotici. Durante lo studio della resistenza alla meticillina dello *Staphylococcus aureus* negli allevamenti di suini, la rappresentazione in un GIS del dataset derivato dal sistema di controllo del commercio tra Stati Membri, TRAdE Control and Expert System (TRACES) ha permesso di evidenziare le principali vie di scambio (Figura 2). L'analisi dei dati ha identificato una forte associazione positiva tra la proporzione di allevamenti di suini positivi alla resistenza alla meticillina ed il numero di suini importati.

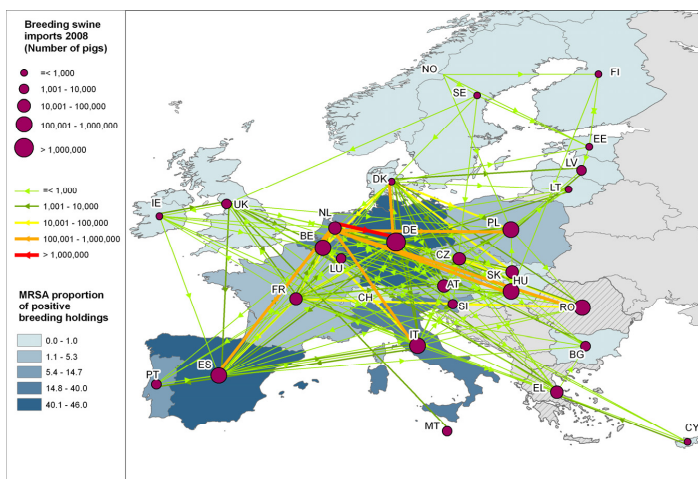


Figura 2 – Importazione ed esportazione dei suini da riproduzione tra gli Stati Membri.

2.2 Lavori del gruppo di esperti scientifici sulla salute e benessere degli animali

Il gruppo AHAW (dall'inglese Animal Health And Welfare) fornisce consulenza scientifica indipendente su tutti gli aspetti che riguardano le patologie ed il benessere degli animali destinati all'alimentazione umana, inclusa la fauna ittica.

Varie opinioni espresse dal gruppo hanno utilizzato i GIS come strumento di supporto.

2.2.1 Monitoraggio della distribuzione degli artropodi vettori di patologie

Numerose patologie trasmesse da vettori appartenenti al Phylum degli artropodi stanno emergendo o riemergendo in Europa negli ultimi anni. Gli artropodi vettori, quali zecche e zanzare, trasportano gli agenti infettivi o infestanti (virus, protisti, parassiti ecc) trasmettendoli ad animali domestici, fauna selvatica e/o uomini creando rischi per la salute sia umana sia animale e danni economici.

Il gruppo AWAH ha avviato vari progetti per la definizione della distribuzione geografica di tali vettori e associate patologie. A tale scopo un'estesa revisione sistematica della letteratura disponibile è stata svolta per creare un geodatabase delle occorrenze degli artropodi che fungono da vettori e dei patogeni ad essi associati. Nella prima fase dello studio si è focalizzato sulla distribuzione delle zecche e delle patologie causate dal virus della peste suina Africana (ASF) e del virus della febbre emorragica Congo-Crimea (Figura 3).

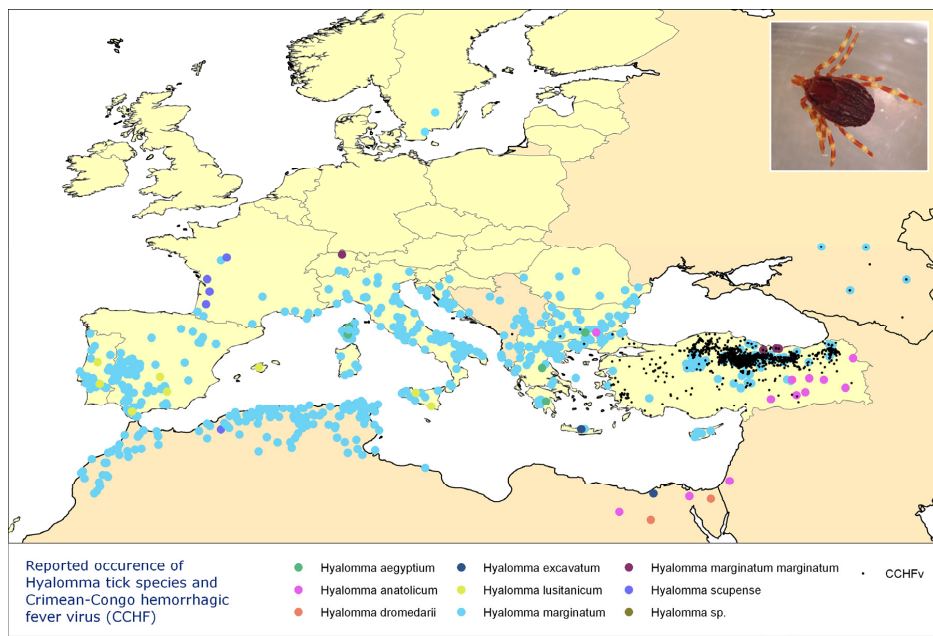


Figura 3 – Presenza di zecche appartenenti al genere *Hyalomma* e del virus della febbre emorragica Congo-Crimea in base ai dati derivati da una revisione sistematica della letteratura.

Il database sarà aggiornato in modo regolare e nuove informazioni saranno aggiunte concernenti altri artropodi quali i flebotomi.

L'informazione sulla distribuzione geografica dei vettori è utilizzata per determinare l'estensione delle patologie associate e per identificare aree a rischio, valutazioni che sono alla base della formulazione di raccomandazioni e opinioni da parte dei gruppi scientifici dell'EFSA.

2.2.2 Applicazione web GIS per il monitoraggio della distribuzione delle patologie degli organismi acquatici

Analogamente allo studio sulla distribuzione degli artropodi vettori di patologie, una revisione sistematica della letteratura è stata svolta per stimare la diffusione geografica di patologie concernenti gli animali acquatici individuate dalla [Direttiva 2006/88/EC](#).

Particolare attenzione è stata riservata all'areale geografico interessato dai vari genotipi del virus della setticemia virale emorragica (VHSV) e del protista parassita appartenente alle varie specie del genere *Bonamia*. I dati raccolti sono stati resi disponibili in un'applicazione web GIS mediante la quale l'utente può selezionare i vari patogeni o gli organismi ospitanti e visualizzarne la distribuzione geografica, nonché ottenere maggiori informazioni sui singoli record di presenza e sullo studio di riferimento (Figura 4).

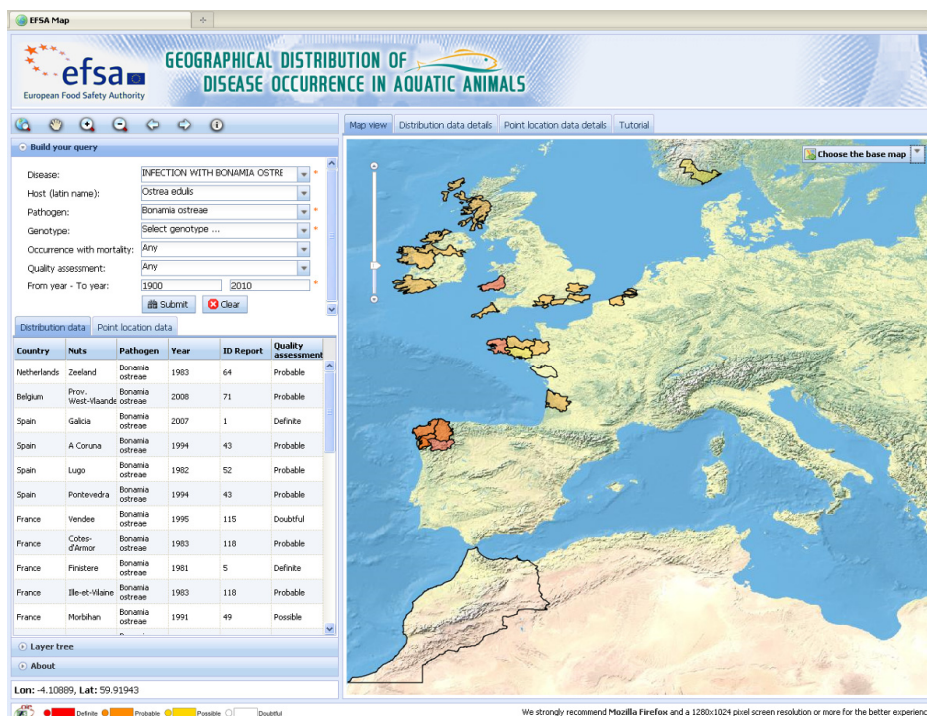


Figura 4 – Applicazione web GIS per la condivisione e visualizzazione dei dati di distribuzione geografica delle patologie associate ad organismi acquatici. I dati sono stati derivati da una revisione sistematica della letteratura.

2.2.3 GIS per l'identificazione di fattori di rischio nella diffusione del virus della febbre catarrale

La febbre catarrale (o lingua blu) è una malattia animale che colpisce i ruminanti domestici e selvatici tra cui ovini, bovini, caprini e cervidi. Si tratta di un'infezione non contagiosa trasmessa da flebotomi della famiglia dei Culicoidi. Variabili che giocano un ruolo nella diffusione del vettore e della malattia includono fattori ambientali e climatici e la densità della popolazione animale ospitante. Fino a tempi recenti la febbre catarrale era stata ristretta alle zone meridionali dell'Unione Europea ma dal 2006 vari paesi nordeuropei (Paesi Bassi, Belgio, Germania e Francia) hanno segnalato epidemie di questa patologia. Da allora l'EFSA ha fornito assistenza scientifica, opinioni e raccomandazioni in materia che sono state utilizzate dalla Commissione europea, il Parlamento europeo e dagli Stati membri per mettere in atto misure di monitoraggio della malattia e gestione del rischio. Le attività principali

mirano a migliorare la conoscenza scientifica delle dinamiche e dei pattern di diffusione della malattia. Recentemente il gruppo AHAW è stato interpellato per emettere un'opinione sulla prevalenza attesa della malattia in varie circostanze e sulla stima aggiornata del potenziale areale di diffusione al fine di sviluppare programmi di monitoraggio e sorveglianza idonei. In tale contesto sono state identificate, mediante un'analisi in ambiente GIS (Figura 5), le zone potenzialmente a rischio sulla base di dati di densità di animali ruminanti da allevamento e variabili climatiche quali il numero di giorni con temperatura media giornaliera superiore ai 15° centigradi (Figura 6).

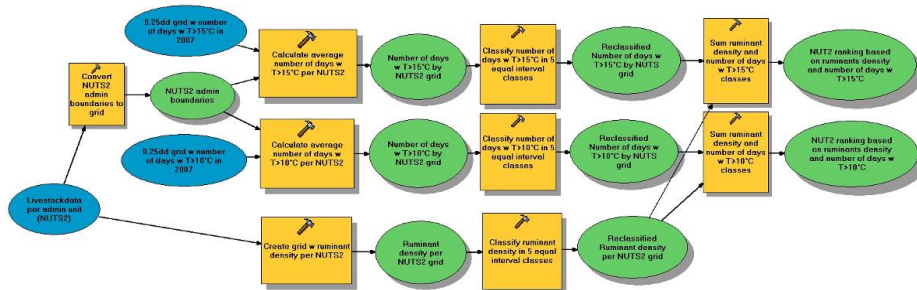


Figura 5 – Modello sviluppato in ArcGIS per il ranking qualitativo delle aree geografiche in base alla densità della popolazione di ruminanti e al numero di giorni con temperatura media giornaliera superiore ai 15° e 10° centigradi.

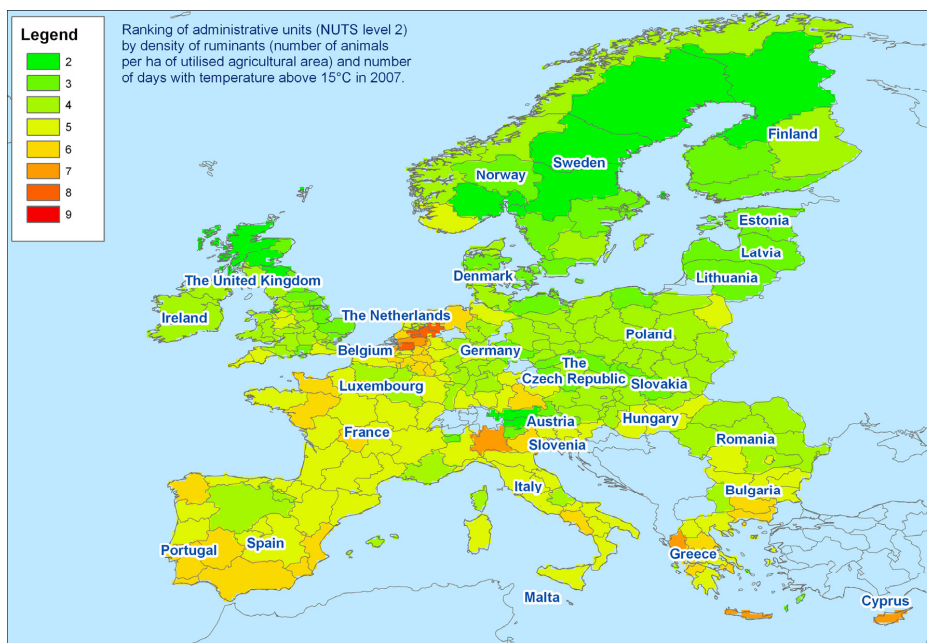


Figura 6 – Ranking del rischio di infezione da febbre catarrale BTV nelle unità amministrative dell'Europa (livello 2 della Nomenclatura delle Unità Territoriali per la Statistica, NUTS) in base alla combinazione qualitativa della densità della popolazione di ruminanti e del numero di giorni con temperatura media giornaliera superiore ai 15° centigradi (un punteggio più elevato indica un rischio maggiore).

2.3 Lavori del gruppo di esperti scientifici sulla protezione e salute delle piante

2.3.1 Valutazione del rischio associato alla diffusione del cinipide galligeno del castagno *Dryocosmus kuriphilis* Yasumatsu nell'Unione Europea.

Il gruppo di esperti scientifici sulla protezione e salute delle piante (PHL) si occupa dei rischi sanitari delle piante che possono influenzare la produzione agricola o minacciare la biodiversità. In seguito ad una richiesta da parte della Commissione Europea il gruppo PHL è stato chiamato a formulare un'opinione sul rischio associato alla diffusione del cinipide galligeno del castagno *Dryocosmus kuriphilis* Yasumatsu la cui presenza in Europa è stata registrata per la prima volta nel 2002. I GIS hanno giocato un ruolo fondamentale nell'individuazione delle aree di diffusione del cinipede (Figura 7), nella creazione di un modello per definire il potenziale areale di diffusione e nella stima delle distanze di dispersione di lungo e corto raggio.

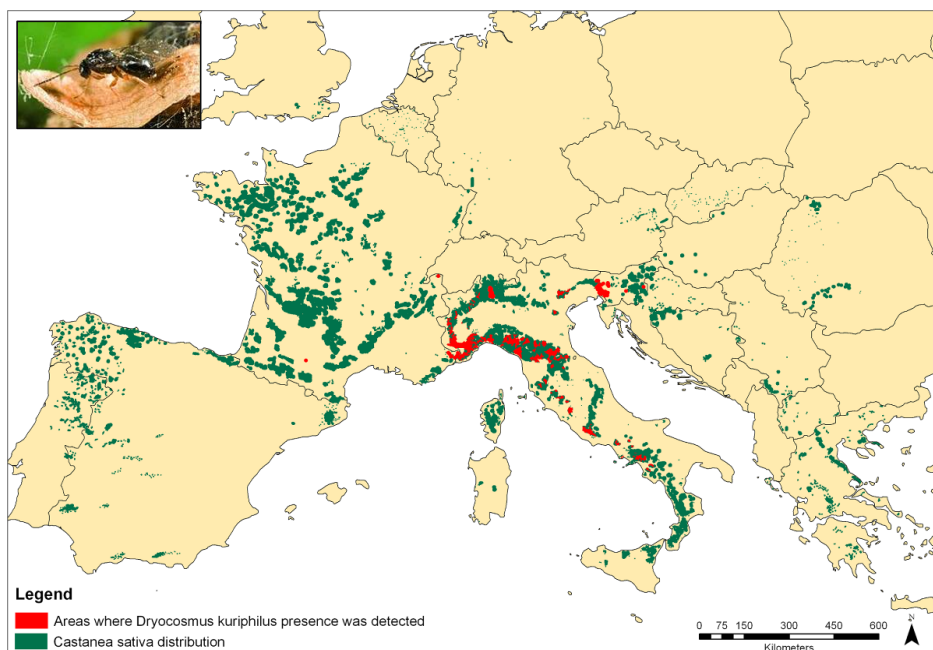


Figura 7 – Aree in cui la presenza del cinipide galligeno del castagno è stata registrata e areale stimato di distribuzione del castagno *Castanea sativa*.

3. Riferimenti bibliografici

Scientific Opinion on bluetongue monitoring and surveillance. EFSA Journal 2011;9(5):2192 [61 pp.]
<http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/2192.htm>

Scientific Opinion on Geographic Distribution of Tick-borne Infections and their Vectors in Europe and the other Regions of the Mediterranean Basin. EFSA Journal 2010;8(9):1723 [280 pp.].
<http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/1723.htm>

Scientific Opinion on the Role of Tick Vectors in the Epidemiology of Crimean-Congo Hemorrhagic Fever and African Swine Fever in Eurasia. EFSA Journal 2010;8(8):1703 [156 pp.]. <http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/1703.htm>

Risk assessment of the oriental chestnut gall wasp, *Dryocosmus kuriphilus* for the EU territory and identification and evaluation of risk management options. EFSA Journal 2010; 8(6):1619 [114 pp.]. <http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/1619.htm>

Analysis of the baseline survey on the prevalence of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) in holdings with breeding pigs, in the EU, 2008 - Part B: factors associated with MRSA contamination of holdings. EFSA Journal 2010; 8(6):1597 [67 pp.]. <http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/1597.htm>

European Food Safety Authority, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009: The European Union Summary Report on Trends and Sources of Zoonoses, Zoonotic Agents and Food-borne Outbreaks. EFSA Journal 2005-2011

Direttiva europea 2003/99/EC: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:325:0031:0040:IT:PDF>

Direttiva europea 2006/88/EC: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:328:0014:0056:IT:PDF>

4. Ringraziamenti

Per una lista completa di ringraziamenti allo staff EFSA, agli esperti scientifici e ai consulenti esterni che hanno partecipato ai progetti illustrati si prega di fare riferimento alla sezione *Acknowledgement* di ciascun link fornito nei riferimenti bibliografici.

Immagine della zecca del genere *Hyalomma* nella Figura 3
Sorgente: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Hyalomma_marginatum.jpg
Autore: Adam Cuerden, Università di Edinburgo

Immagine del cinipede galligeno nella Figura 7
Sorgente: http://it.wikipedia.org/wiki/File:Dryocosmus_kuriphilus.jpg
Autore: Gyorgy Csoka, Hungary Forest Research Institute

Applicazione di una metodologia di analisi di rischio regionale su base GIS per l'utilizzo sostenibile delle falde in un contesto di cambiamento climatico – Applicazione nell'ambito del progetto Life+ SALT

Jonathan Rizzi (*,**), Silvia Torresan (*), Sara Pasini (*), Felix Iyalomhe (*),
Andrea Critto (*,**), Antonio Marcomini (**)

(*) Euro-Mediterranean Centre for Climate Change (CMCC), Impacts on Soil and Coast Division
c/o Consorzio Venezia Ricerche, Via della Libertà 12, 30175, Venice, Italy

(**) Department of Environmental Sciences, Informatics and Statistics
University Ca' Foscari Venice, Calle Larga S. Marta 2137, I-30123 Venice, Italy

Sintesi

Gli impatti dei cambiamenti climatici sulle risorse idriche possono portare a variazioni significative nella quantità e nella qualità delle acque di falda. Le attività antropiche quali l'estrazione di acqua, l'irrigazione intensiva, i cambiamenti nell'uso del suolo e l'urbanizzazione rappresentano ulteriori pressioni che richiedono l'attuazione di misure di adattamento contro il degrado della qualità e la scarsità dell'acqua.

Con lo scopo di fornire informazioni utili alle autorità competenti per la gestione delle risorse idriche sui possibili impatti relativi ai cambiamenti climatici, è stata sviluppata e implementata una metodologia di Analisi di Rischio Regionale (ARR) all'interno di un Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS) integrato con un sistema GIS. Gli obiettivi principali della metodologia sono la valutazione e la prioritizzazione dei potenziali impatti, della vulnerabilità e dei rischi posti dai cambiamenti climatici sulle acque di falda e sugli ecosistemi ad esse connessi, al fine di identificare le aree in cui è necessario procedere per definire delle strategie di adattamento e gestione.

L'ARR utilizza gli output di modelli climatici, idrologici ed idrogeologici al fine di valutare le variazioni dei regimi idrologici e dei bilanci di falda, in relazione a diversi scenari di cambiamento climatico. Vengono inoltre utilizzate proiezioni di innalzamento del livello del mare per valutare gli impatti dei cambiamenti climatici sui fenomeni di intrusione del cuneo salino. Le aree maggiormente sensibili agli impatti dei cambiamenti climatici (abbassamento del livello della falda, degrado della qualità o intrusione del cuneo salino) vengono identificate analizzando la distribuzione spaziale dei fattori biofisici e socioeconomici del territorio (es. topografia, geologia, copertura e uso del suolo) e integrandoli mediante tecniche di Analisi Multi-Criteriale.

Nell'intervento verranno descritti l'applicazione e i risultati dell'ARR e del DSS applicati al bacino del Fiume Esino (Marche) nell'ambito del progetto Life+ SALT.

Abstract

Climate change impacts on hydrological resources can lead to important changes on groundwater quantity and quality. Human activities like water pumping, irrigation, changes on land uses and urbanization represent other pressures that require the implementation of adaptation measures to limit water quality decrease and water scarcity.

With the main aim to produce useful information for the authorities responsible of the management of hydrological resources, taking into account the possible impacts of climate changes, a Regional Risk Assessment (RRA) methodology has been developed and implemented within a Decision Support System (DSS) integrated with a GIS. The main aim are the assessment and prioritization of the potential impacts, of the vulnerability and of the risk relate to climate change on groundwaters

and related ecosystems, in order to identify area and targets where the definition of adaptation and management strategies is required.

The methodology is based on the use on climate change, hydrological and hydrogeological models outputs in order to make an assessment of hydrological regimes and groundwater budgets, related to different climate change scenarios. Moreover, sea level rise projections are used in order to assess the impacts of climate change on salt water intrusion. Areas and targets most vulnerable to climate change impacts (e.g. groundwater level decrease, pollutant concentration increment, salt water intrusion) are identified analyzing the spatial distribution of biophysical and socio-economic factors (e.g. topography, geology, land cover, land use) and integrating them through MultiCriteria Decision Analysis techniques.

Within the paper the results of the application of the RRA methodology and of the DSS to the Esino river basin (Marche, Italy) within the Life+ SALT project will be described.

Introduzione

Studi nazionali e internazionali indicano che i cambiamenti climatici sono responsabili di un ampio numero di impatti rilevanti sul patrimonio ambientale oltre che nell'ambito sociale ed economico. In particolare, i potenziali impatti dei cambiamenti climatici sulle falde acquifere possono derivare da alterazioni del ciclo idrologico e si possono manifestare attraverso decrementi della qualità (es. salinizzazione, inquinamento) e della quantità dell'acqua disponibile (es. diminuzione ed esaurimento delle risorse sotterranee), con gravi ripercussioni sui sistemi naturali e antropici (es. perdita di ecosistemi e biodiversità, diminuzione di acqua per uso potabile ed irriguo) (Voudouris et al. 2010 e Abd-Elhamid, 2010).

L'analisi degli impatti dei cambiamenti climatici sulle risorse idriche sotterranee costituisce per alcuni versi un obiettivo di non facile conseguimento. La complessità dei fenomeni indagati e la molteplicità degli aspetti coinvolti richiede infatti un approccio multidisciplinare e di carattere ecosistemico nella valutazione delle interrelazioni esistenti e future tra clima, ambiente e pressioni antropiche.

La Comunità Europea ha riconosciuto alle risorse idriche (sia superficiali sia sotterranee) una grande importanza a livello ambientale, sociale, culturale e ricreativo per l'Europa e ha raccomandato l'attuazione di una Gestione Integrata della Zona Costiera (GICZ) per la gestione sostenibile di questi sistemi (EC, COM(2000) 547; EC, 2002; 2002/413/EC; EC, COM(2007) 308). Per quanto riguarda le acque di falde, inoltre, la necessità di preservare e proteggere tale risorsa emerge anche nella Direttiva Quadro sulle Acque di Falda (Groundwater Directive, EC, 2006), nella Direttiva Quadro sulle Acque (Water Framework Directive, EC, 2000), e nel Libro Verde e nel Libro Bianco riguardanti l'adattamento ai cambiamenti climatici (EC, 2007; EC, 2009) che hanno l'obiettivo di aumentare la resilienza agli impatti dovuti ai cambiamenti climatici e supportare gli obiettivi generali legati allo sviluppo sostenibile.

Al fine di prioritizzare gli impatti, i bersagli e le aree potenzialmente esposte ai rischi derivanti dai cambiamenti climatici connessi sulle acque di falda a scala regionale, è stato sviluppato dal Centro Euro-Mediterraneo per I Cambiamenti Climatici (CMCC, www.cmcc.it) il Sistema di Supporto alle Decisioni DESYCO (DEcision support SYstem for COastal climate change impact assessment). Tale strumento è stato applicato al bacino e alla falda del fiume Esino (Regione Marche) nell'ambito del progetto SALT (Life +), alla media e alta pianura delle regioni Veneto e Friuli Venezia Giulia nell'ambito del progetto TRUST (Life +), alle aree costiere del Nord Adriatico nell'ambito del progetto PEGASO (EU-FP7), e al Golfo di Gabès (Tunisia) nell'ambito del progetto CANTICO (ERANET-CIRCLE-MED). La metodologia di Analisi di Rischio Regionale (ARR) costituisce il nucleo centrale di DESYCO che permette di identificare e prioritizzare i recettori e le aree esposte al rischio all'interno della regione esaminata al fine di individuare le situazioni più critiche e guidare la selezione delle migliori strategie di adattamento.

In questo elaborato, dopo una breve descrizione dell'area di studio, verrà presentata la metodologia di ARR, verrà descritto il DSS DESYCO e saranno illustrati alcuni risultati preliminari ottenuti nell'ambito del progetto Life+ SALT (Sustainable mAnagement of the Esino river basin to prevent saline intrusion in the coastal aquifer in consideration of climate change).

Il progetto Life+ SALT e l'area di studio

La bassa e media valle del Fiume Esino (Marche, *Figura 1*) rappresenta una delle aree in cui il patrimonio idrico regionale risulta particolarmente compromesso e interessato, in particolare, da problematiche connesse all'intrusione marina. Questo fenomeno è indotto dagli equilibri naturali ma è aggravato dai processi di sfruttamento degli acquiferi costieri e da un utilizzo indiscriminato del suolo da parte dell'uomo. I risultati più evidenti sono un impoverimento delle riserve di acque dolci lungo le coste e, contemporaneamente, un processo di degradazione del suolo. Tali problemi sono presenti lungo le coste marchigiane e, in particolar modo, nell'acquifero costiero di subalveo del fiume Esino. La necessità di studiare e quantificare il fenomeno deriva innanzitutto dal bisogno di tutelare la captazione di acqua per uso idropotabile dai pozzi. L'intrusione salina nell'acquifero costiero del fiume Esino è un problema acuitosi nel tempo per le seguenti cause:

- eccessivo sfruttamento della falda dovuto a prelievi civili, agricoli ed industriali;
- diminuzione degli apporti idrici da monte;
- cambiamenti climatici.

Il conseguente interessamento dei pozzi nel basso Esino ha reso necessario individuare delle azioni di studio e pianificazione per la protezione delle acque sotterranee del bacino del fiume all'intrusione salina attuale e futura.

L'obiettivo generale del progetto SALT è quindi di contribuire ad un uso efficiente e alla protezione dall'intrusione di acqua salata delle risorse idriche sotterranee nella bassa valle del fiume Esino, attraverso azioni di studio e pianificazione, ed in particolare mediante l'implementazione di modelli che simulano la condizione attuale e gli scenari futuri, considerando i cambiamenti climatici.

Nello specifico, il progetto SALT si propone di:

- analizzare il trend dell'intrusione salina nel fiume Esino e nel corrispondente acquifero, valutando l'intrusione salina mediante tecniche innovative quali il monitoraggio con telerilevamento, software GIS e modelli idrologici e idrogeologici per il fiume e la falda;
- simulare l'effetto che, in un ipotetico scenario futuro, potranno avere i cambiamenti climatici nell'avanzamento del cuneo salino;
- individuare le azioni per contenere o ridurre l'impatto;
- sviluppare una procedura di valutazione del rischio a scala regionale che funga da supporto nella gestione e nella pianificazione d'uso delle risorse idriche sotterranee;
- divulgare i contenuti e risultati del progetto e contribuire all'applicazione della metodologia proposta in altri acquiferi costieri a livello europeo.

Con questi obiettivi SALT si ricollega a due direttive europee: Water Framework Directive (2000/60/EC) e Groundwater Directive (2006/118/EC), recependone gli indirizzi e realizzando strumenti e programmi di misura coerenti con gli obiettivi di protezione e uso sostenibile delle risorse idriche sottolineati dalle direttive in questione.



*Figura 1 – L'area del bacino del fiume Esino (Marche, all'interno della linea rossa).
(Adattata da google maps: maps.google.it).*

Il fiume Esino (*Figura 1*) nasce dal monte Cafaggio in provincia di Macerata e sfocia nel mare Adriatico, in località Fiumesino nel comune di Falconara Marittima, dopo un percorso di 86 km. Il suo bacino imbrifero misura complessivamente 1.203 kmq.

Le acque dell'acquifero nell'area investigata sono utilizzate principalmente a scopi agricoli ed industriali. I principali utilizzatori sono infatti le aziende agricole presenti nella zona e, fino al 2008, la società Sadam. I prelievi agricoli si attuano durante la stagione estiva. La società Sadam, che rappresentava il maggiore utilizzatore delle acque sotterranee nell'area, emungeva dall'acquifero principalmente durante il periodo tardo estivo ed autunnale, in connessione alla lavorazione delle barbabietole da zucchero. Gli emungimenti principali della zona erano quindi limitati ai periodi estivi ed inizio autunno.

Altro utilizzo delle acque è quello relativo al funzionamento dell'impianto Turbogas, che dal prevede la captazione delle acque sotterranee presenti nell'acquifero della pianura alluvionale del fiume Esino. Per quanto riguarda l'area interessata dalla centrale Turbogas i volumi idrici presenti nell'acquifero di subalveo sono molto elevati ed ampiamente sufficienti a soddisfare i fabbisogni necessari al funzionamento dell'impianto (90-95 l/s). L'area, infatti, presenta caratteri idrogeologici favorevoli, elevata permeabilità dei depositi e drena, da monte di Jesi, una vasta area dell'acquifero della pianura. L'alimentazione dell'acquifero è dovuta principalmente alle acque del fiume Esino e, secondariamente, alle acque degli affluenti e relativi subalvei presenti in sinistra idrografica.

Nella falda sottostante il fiume Esino, anche se i prelievi non risultino cospicui nella zona industriale di Jesi ed a monte della stessa città, la qualità delle acque rimane scadente per l'elevato tenore salino. In prossimità dell'asta fluviale, invece, si hanno acque a minore tenore salino che testimoniano la ricarica fluviale. Comunque, l'elevata concentrazione di nitrati, nitriti ed ammoniaca, dovuta ad inquinamento antropico, rende le acque di tale zona non utilizzabili a scopi idropotabili. Inoltre, l'analisi idrogeologica evidenzia che l'acquifero della pianura è ricaricato principalmente dalle acque del fiume Esino: aspetto in realtà valido per tutto l'acquifero di subalveo. La ricarica dell'acquifero avviene, infatti, ad opera dell'infiltrazione delle acque del fiume. La captazione delle acque del subalveo può quindi riflettersi nelle portate fluviali con decrementi delle stesse, e con la possibilità reale che gli abbassamenti della piezometrica a seguito della captazione, modificando il campo di moto nell'acquifero, possano richiamare acque inquinate presenti nelle aree circostanti.

La metodologia di Analisi di Rischio Regionale e il DSS DESYCO

La metodologia di Analisi di Rischio Regionale (ARR) proposta per la stima degli impatti dei cambiamenti climatici nelle aree costiere si propone come uno strumento di supporto per le autorità nazionali e regionali nell'ambito dello studio delle possibili conseguenze associate all'incertezza del clima futuro e ha come obiettivo principale la prioritizzazione delle aree esposte ai cambiamenti climatici per attuare coerenti misure di adattamento. Più specificamente, la metodologia di ARR è definita come una procedura di valutazione del rischio che considera la presenza di molteplici habitat, molteplici sorgenti che rilasciano una molteplicità di stressori che impattano molteplici bersagli (Landis, 2005). L'ARR integra le tecniche di Analisi Multi-Criteriale (MCA) al fine di stimare il rischio relativo in una regione di interesse, confrontando diversi impatti e stressori, prioritizzare i bersagli e le aree a rischio, e selezionare i rischi che devono essere investigati più approfonditamente. La metodologia di ARR è parte di un *framework* più ampio per la valutazione degli impatti e dei rischi legati ai cambiamenti climatici nelle zone costiere a scala regionale (Torresan et al., 2007). La struttura del *framework* è composta da 3 fasi principali: i) la Costruzione degli Scenari che ha l'obiettivo di definire gli scenari climatici futuri per l'area di studio esaminata su scala regionale; ii) la Valutazione Integrata degli impatti e dei rischi che ha l'obiettivo di prioritizzare gli impatti; iii) la Gestione del rischio e degli impatti, che è orientata al supporto delle strategie di adattamento per la riduzione dei rischi e degli impatti nelle zone costiere, in conformità con i principi della GIZC, della Direttiva quadro sulle Acque (Water Framework Directive, EC, 2000), della Direttiva Quadro sulla Strategia Marina (Marine Strategy Framework Directive, EC, 2008) del Libro Bianco e del Libro Verde riguardanti gli adattamenti ai cambiamenti climatici (EC, 2007; EC, 2009).

Il *framework* e la metodologia di ARR sono implementati all'interno di DESYCO, i cui obiettivi principali sono: i) migliorare la conoscenza degli effetti dei cambiamenti climatici sugli ambienti costieri alla scala regionale; ii) applicare approcci innovativi e interdisciplinari e metodologie adeguate per una corretta valutazione e comunicazione dei rischi legati ai cambiamenti climatici; iii) fornire ai pianificatori e ai decisori informazioni appropriate per la definizione di strategie di adattamento. Le componenti principali di tale strumento sono un *geodatabase* contenenti i dati biofisici e socioeconomici, scenari multi-scala derivati dalle simulazioni dei modelli numerici o serie storiche e un Modello di Rischio Relativo per l'applicazione della metodologia di ARR.

I principali output dell'ARR comprendono: i) mappe di Esposizione, che rappresentano l'esposizione ai cambiamenti climatici di uno specifico sistema; ii) mappe di Vulnerabilità che rappresentano la distribuzione spaziale dei fattori ambientali e socio-economici di vulnerabilità; iii) mappe di Rischio che permettono l'identificazione e la prioritizzazione dei rischi nell'area considerata; iv) mappe di Danno che forniscono una stima relativa delle potenziali perdite a livello sociale, economico e ambientale.

Al fine di definire gli scenari di pericolo potenzialmente significativi per l'area in esame e costruire le mappe di Esposizione per l'analisi di rischio, è stata realizzata una catena dei modelli che include diversi tipi di modelli numerici su differenti scale spaziali che simulano processi idrologici ed idrogeologici in grado di influire sugli impatti dovuti ai cambiamenti climatici nelle aree costiere e nelle risorse idriche. A partire da Modelli Climatici Globali (GCMs) e Regionali (RCMs) che permettono di rappresentare le principali dinamiche climatiche su un esteso dominio spaziale (dalla scala globale alla scala sub-continentale), la catena dei modelli include modelli ad alta risoluzione che permettono di ottenere delle simulazioni idrodinamiche e idrogeologiche sulle acque superficiali e sotterranee a scala sub-nazionale/regionale e locale. Tali modelli sono stati utilizzati in modo integrato al fine di fornire delle simulazioni di intrusione salina. Pertanto, la catena dei modelli sopra descritta permette di investigare gli impatti di qualità e quantità delle risorse idriche, fornendo le metriche di pericolo (i.e. gli output dei modelli) che vengono utilizzate all'interno del modello di ARR.

La caratterizzazione della vulnerabilità territoriale e la costruzione di mappe di Vulnerabilità richiede lo sviluppo e l'applicazione di indicatori ed indici che rappresentino la sensibilità dei sistemi naturali e antropici esaminati agli effetti dannosi prodotti dai pericoli relativi ai cambiamenti climatici (Torresan et al., 2008). Per l'analisi della vulnerabilità, l'ARR prevede la definizione e la caratterizzazione di quattro categorie principali di fattori: fattori di suscettibilità (S) che rappresentano il grado con cui un recettore è colpito da uno stimolo correlato al clima (ad es. salinità dell'acqua, percentuale di acqua potabile estratta dal sottosuolo); fattori di valore (V) che rappresentano i principali valori ambientali ed economici del recettore che devono essere preservati nell'interesse della comunità (ad es. valore economico delle coltivazioni, consumo di acqua pro-capite); fattori di attenuazione (A) che rappresentano opere in grado di contenere l'intensità del pericolo associato ad un impatto; fattori di percorso (P) che rappresentano quelle caratteristiche fisiche dei recettori in grado di metterli in contatto col pericolo (ad es. distanza dalla linea di costa). Pertanto, al fine di identificare i target e le aree vulnerabili ai potenziali impatti dovuti ai cambiamenti climatici a livello sito-specifico (i.e. il bacino del fiume Esino nelle Marche), è stato considerato un sub-set di indicatori di vulnerabilità riferiti a diversi recettori (ad es. sorgenti, laghi, fiumi, aree agricole, popolazione, pozzi) per l'impatto di intrusione del cuneo salino. Inoltre, tali indicatori comprendono fattori biogeofisici e socio-economici che rappresentano la vulnerabilità degli acquiferi ai cambiamenti climatici su scala regionale, in relazione alla disponibilità e alla affidabilità per lo specifico caso studio. Nel modello di ARR, i fattori di vulnerabilità e le metriche di pericolo, rappresentati attraverso mappe raster su base GIS, vengono utilizzate per ottenere una stima relativa dei rischi e dei danni per ogni recettore utilizzando specifiche funzioni di Analisi Multi Criteriale (MCA). La rappresentazione su base GIS permette di ottenere una visualizzazione spaziale dei diversi fattori che concorrono alla determinazione del rischio (i.e. fattori di vulnerabilità e metriche di pericolo), nonché a procedere ad una loro preliminare analisi. Le mappe di Esposizione rappresentano le aree del territorio potenzialmente esposte agli impatti dei

cambiamenti climatici (ad es. intrusione del cuneo salino), mentre le mappe di Vulnerabilità (*Figura 2*) rappresentano la distribuzione di fattori ambientali e socio-economici presenti sul territorio che aumentano la sensibilità dei recettori ai possibili impatti dei cambiamenti climatici (es. distribuzione di vegetazione, ecosistemi, popolazione, infrastrutture, uso del territorio). Infine, le mappe di Rischio e Danno combinano le mappe di Esposizione e le mappe di Vulnerabilità, al fine di identificare e classificare le aree e i bersagli più a rischio nel territorio in esame e fare una stima preliminare delle perdite associate a tali rischi. Le mappe prodotte hanno l'obiettivo di guidare i decisori nell'analisi delle possibili conseguenze legate ai cambiamenti climatici, nell'identificazione delle opportune misure di adattamento, nella pianificazione sull'uso del suolo e nella gestione delle risorse idriche.

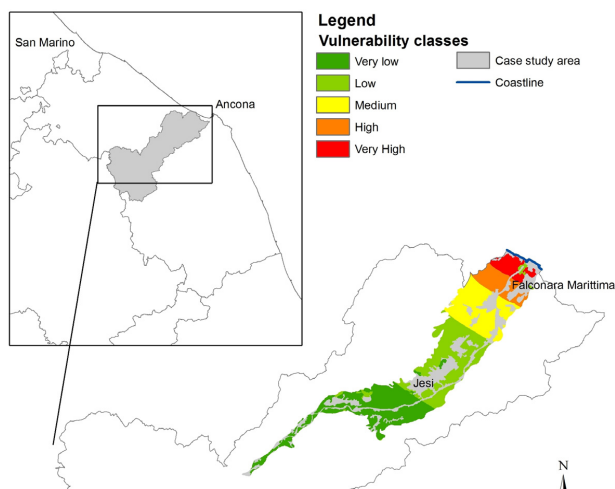


Figura 2 – Mappa di vulnerabilità per il recettore Aree agricole in relazione all’impatto di intrusione del cuneo salino nel bacino del fiume Esino (Marche). Risultato preliminare del progetto Life+ SALT.

Conclusioni

DESYCO e l'ARR sono strumenti innovativi per quanto riguarda lo studio degli impatti dovuti ai cambiamenti climatici nelle aree costiere e nelle acque di falda su scala regionale e supportano l'effettivo sviluppo di strategie di adattamento e di GIZC, coerenti con le direttive europee connesse, direttamente o indirettamente, ai cambiamenti climatici.

DESYCO, inoltre, rappresenta uno strumento utile per analizzare gli impatti associati a diversi scenari di cambiamento climatico in aree sensibili (ad esempio le acque di falda e le foci dei fiumi) e per supportare lo sviluppo di politiche sostenibili, considerando i rischi associati ai cambiamenti climatici. La metodologia di ARR e DESYCO hanno dimostrato, all'interno di diversi progetti, di essere degli strumenti validi e applicabili a diversi contesti attraverso l'adattamento della metodologia e la personalizzazione del DSS a diversi casi studio. L'originalità dell'approccio consiste nell'applicazione di una catena di modelli che permette il *downscaling* delle informazioni fornite a scala globale e sub-continentale e consente l'analisi di processi che avvengono a livello regionale e/o locale; e nello sviluppo di una procedura di analisi di vulnerabilità che permette la prioritizzazione delle vulnerabilità relative nell'area considerata e l'identificazione delle aree potenzialmente a rischio in relazione agli impatti connessi ai cambiamenti climatici. Infine, gli output forniti da DESYCO sono stati definiti in una prospettiva che consideri i servizi per il clima (*climate services*) e le necessità degli utenti finali.

Bibliografia

- Abd-Elhamid, H.F., (2010), *A Simulation-Optimization Model to Study the Control of Seawater Intrusion in Coastal Aquifers*, University of Exeter.
- EC, (2000), *Water Framework Directive 2000/60/EC*.
- EC, (2006), *Groundwater Directive 2006/118/EC*.
- EC, (2007), *Green Paper COM(2007) 354 final*, Brussels.
- EC, (2008), *Marine Strategy Framework Directive 2008/56/EC*.
- EC, (2009), *White Paper COM(2009) 147 final*, Brussels.
- EC, COM(2000) 547 Brussels, 27.09.2000, *Commission of the European Communities, Communication from the commission to the council and the European Parliament on integrated coastal zone management: a strategy for Europe*.
- EC, COM(2002) 413, 30.05.2002, *Recommendation of the European Parliament and of the Council concerning the implementation of Integrated Coastal Zone Management in Europe*.
- EC, COM(2007) 308 Brussels, 07.06.2007, *Report to the European Parliament and the Council: An evaluation of Integrated Coastal Zone Management (ICZM) in Europe*.
- IPCC, (2008), *Climate change and water*, Technical Paper VI. IPCC Secretariat, Geneva.
- Landis W. G., (2005), *Regional scale ecological risk assessment, Using the relative risk model*, Edited by W. G. Landis, CRC PRESS.
- Simeoni U., Corbau C., (2009), *A review of the Delta Po evolution (Italy) related to climatic changes and human impacts*, *Geomorphology* 107 (2009) 64–71.
- Torresan S., Critto A., Dalla Valle M., Harvey N. and Marcomini A., (2007), *A regional risk assessment framework for climate change impacts evaluation in a coastal zone management perspective*, In Özhan, E. (Editor), *Proceedings of the Eighth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment*, 13-17 November 2007, Alexandria, Egypt, MEDCOAST, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, vol 2, pp.741-752. 2007.
- Torresan S., Critto A., Dalla Valle M., Harvey N. e Marcomini A., (2008), *Assessing coastal vulnerability to climate change: comparing segmentation at global and regional scales*, *Sustainability Science*, Springer, 3: 45-65.
- Travers A., Elrick C. and Kay R., (2010), *Background Paper: Climate Change in Coastal Zones of the Mediterranean*, Split, Priority Actions Programme, 2010
- Voudouris, K., Kazakis, N., Polemio, M. and Kareklas, K. (2010), *Assessment of Intrinsic Vulnerability using DRASTIC Model and GIS in Kiti aquifer*, Cyprus. *Journal of European Water* 30: 13-24.

Produzione di DTM per la realizzazione di infrastrutture viarie da rilievi fotogrammetrici speditivi: due esperienze a confronto in India

Riccardo Roncella (*), Cristina Re (**), Gessica Umili (*), Gianfranco Forlani (*),
Parvaze Butt (***), Giampiero Carrieri (***), Elena Rabbi (***), Mattia Valentincic (***)

(*) DICATeA Università di Parma, Viale delle Scienze 181/a, 43124 Parma
Tel. 0521 905934, e-mail riccardo.roncella@unipr.it

(**) CISAS, Università degli Studi di Padova, 35129 Padova (PD)
Tel. 0521 906145, e-mail cristina.re@studenti.unipr.it

(***) Geodata Engineering S.p.A. C.so Duca degli Abuzzi, 48/e, 10129 Torino

Riassunto

La redazione di cartografia per la progettazione di infrastrutture in regioni difficilmente accessibili costituisce spesso un problema per le imprese coinvolte. Le condizioni di inaccessibilità dei versanti o la presenza di vegetazione spesso non consentono misure sufficientemente dettagliate con metodi di rilievo topografico tradizionali; affidare il rilievo a topografi locali di non provata esperienza può condurre a ritardi inaccettabili; le spese di trasferta per l'impiego di squadre italiane sono d'altro canto molto onerose. Partendo dall'esperienza fatta in una serie di rilievi fotogrammetrici di versanti in India, il presente lavoro illustra, sottolineando pro e contro, due soluzioni alternative: una acquisizione dati estremamente speditiva da parte di personale esperto oppure la stessa acquisizione da parte di personale dell'impresa già sul posto. In entrambi i casi le immagini e le coordinate dei punti d'appoggio sono state inviate via internet in Italia, dove sono state rapidamente orientate con tecniche di Structure from Motion; orientato il blocco tramite i punti d'appoggio, si ottiene, tramite software di matching denso, il DSM del versante. La rimozione della vegetazione ha richiesto l'applicazione di una o più procedure di filtraggio.

Abstract

Cartographic production to support the design of large infrastructures in not accessible regions is often a problem. Recently our research group has been involved in a series of topographic and photogrammetric surveys in India. Hard accessibility conditions of the slopes and/or the presence of tropical vegetation makes nearly impossible using traditional topographic techniques; entrusting local surveyors (who might not be experienced enough) could lead to delays unacceptable in this phase or to inaccurate results; travel expenses for Italian surveyors teams are on the other hand substantial. The paper presents two different case studies, highlighting pros and cons, where innovative techniques has been tested: in the first a very expeditious data acquisition is performed by few, well experienced, surveyors while most of the data analysis is performed in Italy by sending data via internet; in the other the image and data acquisition was performed directly by non-photogrammetrists already in place. In both cases, images and the coordinates of few ground control points were sent to Italy and then processed in very short time using Structure and Motion and automatic image correlation techniques for DTM generation. The vegetation was removed using filtering techniques as well. In this way while a team is providing the data, the other one, in Italy, can produce the results with low costs and in short times.

Introduzione

La progettazione e realizzazione di grandi opere infrastrutturali è, da sempre, un campo di attività di grande interesse, non solo dal punto di vista economico e politico, ma anche perché in esso nuovi spunti di sviluppo e di ricerca trovano modo di fiorire con maggior facilità: le grandi sfide che tali opere presentano richiedono competenze tecniche avanzate da parte di tutte le persone coinvolte nelle fasi di progettazione, realizzazione e manutenzione, insieme a “coraggio” e iniziativa per affrontare le difficoltà peculiari che l’opera stessa presenta indagando nuove vie e sviluppando tecniche, approcci e metodologie per risolverle.

Il problema di affrontare problemi nuovi in condizioni operative limite è ancor più sentito quando le opere devono essere realizzate in paesi lontani; se il paese in questione è anche culturalmente lontano dal nostro (si pensi ad esempio ai paesi orientali o africani), i tecnici locali hanno consuetudini e pratiche differenti dalle nostre (o nel caso dei paesi in via di sviluppo sono ancora fermi a metodologie superate) e anche il più semplice problema tecnico, complicato dalle differenze linguistiche, può rappresentare un ostacolo di arduo superamento.

Il presente lavoro non ha l’ambizione di fornire delle regole pratiche in tal senso o proporre metodologie generali che possano essere applicate in un ambito così vasto e variegato come quello della realizzazione di grandi opere: esso vuole piuttosto essere una sorta di diario di viaggio e di lavoro, presentando due diverse esperienze di rilievo in India, nella speranza che da esso possano nascere alcuni spunti di riflessione.

Il nostro gruppo di ricerca (Università degli Studi di Parma) già da diversi anni ha un rapporto di collaborazione con una delle principali società di Ingegneria del nostro paese (Geodata Engineering) ed è stato coinvolto durante la primavera del 2011 in una serie di attività di rilievo di versanti (sia in terra sia in roccia) nella regione del West Bengala e del Sikkim (India nord-orientale) e del Kashmir (India nord-occidentale). In entrambi i casi i rilievi dovevano fornire una base conoscitiva per successive fasi di progettazione: in particolare, per la regione del West Bengala, occorreva rilevare le aree di imbocco delle gallerie dell’infrastruttura ferroviaria che fra 5 anni dovrà collegare Sivok (West Bengala) con Rangpo (Sikkim), operazione difficile da svolgersi con tecniche topografiche tradizionali anche per la presenza considerevole di vegetazione a carattere tropicale.

Nel seguito saranno brevemente descritte le aree oggetto di intervento e si cercherà di fornire un quadro delle difficoltà, non solo tecniche o logistiche, che il rilievo presenta; verranno poi richiamate le tecniche fotogrammetriche adottate per completare i rilievi in tempi rapidi e con impiego limitato di risorse; in un paragrafo conclusivo verranno illustrati i risultati ottenuti.

Va chiarito fin d’ora che tali risultati non presentano carattere di particolare innovatività: in sostanza si sono ottenuti dei modelli digitali di superficie delle diverse aree, eventualmente filtrati per eliminare (o almeno ridurre) la presenza di vegetazione, da cui sono stati desunti alcuni prodotti cartografici che, unitamente ai modelli tridimensionali, formeranno la base geometrica su cui impostare le successive fasi di progettazione. Quello che è rilevante, in questo caso, è riuscire a ottenere tali prodotti in tempi estremamente brevi, con poche risorse, utilizzando personale fondamentalmente non addestrato, in molti casi riuscendo ad aggirare il bisogno di rivolgersi a tecnici o operatori locali poco affidabili o tecnicamente non preparati a svolgere il rilievo. La necessità di svolgere alcune fasi di rilievo con personale italiano (o addirittura elaborando in Italia dati inviati direttamente dall’estero) nasce dal bisogno ingegneristico (tecnico-economico) di ottenere in tempi brevi e con una buona affidabilità informazioni chiave per lo svolgimento del progetto, riducendo al contempo i rischi connessi ad una difficile comunicazione con gli operatori stranieri.

La regione del West Bengala e del Sikkim

Il Bengala Occidentale (figura 1) è uno stato dell’India Orientale che, insieme al Bangladesh, con cui confina ad oriente, forma una delle principali regioni etnico-linguistiche di queste zone del mondo. Morfologicamente lo stato può essere pensato suddiviso in due aree: la prima, pianeggiante,

è costituita dalla piana del Gange; la parte più settentrionale, al contrario, è costituita dalle pendici Himalayane e sub-Himalayane e comprende la regione del Darjeeling (nota a molti per il tè che qui viene prodotto) ed è sostanzialmente collinare e montuosa. A nord del Bengala Occidentale trova posto un altro stato federato (dal 1975) indiano: il Sikkim. Esso è il meno popoloso di tutta l'India, è circondato da paesi stranieri in quanto confina a ovest con il Nepal, a nord e a est con la Cina (regione del Tibet), a sud-est con il Buthan ed è collegato per un piccolo lembo di terra a sud-est con il Bengala Occidentale; insieme le due regioni formano l'unico passaggio verso le regioni orientali dell'India (Assam).

Il clima, fondamentalmente tropicale, fa sì che in queste regioni la vegetazione sia particolarmente rigogliosa. Inoltre, essendo l'urbanizzazione di queste regioni estremamente ridotta, la fauna locale è particolarmente ricca e variegata. Dovendo realizzare rilievi che in molti casi interessano zone forestate, la presenza di predatori (tigri) ed altri animali (elefanti, serpenti) potenzialmente pericolosi complica la logistica delle operazioni: anche nelle zone immediatamente prospicienti le vie di comunicazione è possibile operare solo in particolari ore del giorno, ovvero quando gli animali dormono o comunque non vanno a caccia.

La regione del Kashmir

Il Kashmir (figura 1) è una regione settentrionale del subcontinente indiano al momento di fatto amministrata da tre stati (India, Cina e Pakistan) che ne rivendicano in parte o in tutto la sovranità. La regione, da sempre, basa la sua economia sull'agricoltura e sulla pastorizia. Le poche attività produttive hanno subito (in particolare nell'area pakistana, maggiormente colpita) un duro arresto con il catastrofico terremoto che ha sconvolto la regione nel 2005. Ciononostante, la parte amministrata dall'India (le aree della vallata del Kashmir, Jammu e Ladakh), si ritiene abbia potenziali risorse naturali il cui sfruttamento potrebbe essere un fattore strategico per il rilancio dell'economia della regione.

Le forti tensioni politiche, complicate dalle differenze religiose nell'area indiana in cui convivono mussulmani, indù (e buddisti per una piccola percentuale), rende la regione di difficile accesso: il visto per visitare il paese è di difficile ottenimento e richiede permessi particolari; allo stesso modo la capacità operativa in queste regioni è estremamente limitata dai vincoli militari e dalla evidente pericolosità dei luoghi.

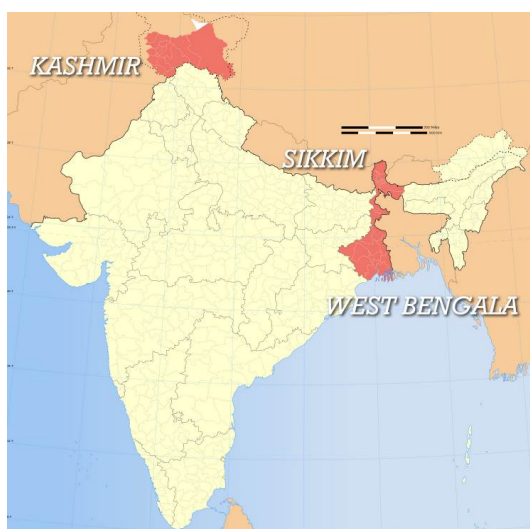


Figura 1 – In evidenza le tre regioni in cui sono stati svolti i rilievi topografici e fotogrammetrici.

Problematiche di rilievo semiserie

Come anticipato nella parte introduttiva le problematiche in questa tipologia di lavori, a nostro avviso, non sono tanto da ricercare nelle difficoltà metodologiche che un rilievo a supporto di una generica opera infrastrutturale presenta (pur richiedendo, vista la sua complessità, buone competenze in campo geomatico e una buona capacità di gestire il lavoro) quanto nelle condizioni particolari che i luoghi presentano. Un primo aspetto da non sottovalutare è la preparazione della missione: gli aspetti logistici giocano infatti un ruolo fondamentale in tutto il rilievo, a partire dall'organizzazione del viaggio. Il reperimento dei visti è piuttosto laborioso e costoso soprattutto se, come nel nostro caso, vi è la necessità di utilizzare procedure di urgenza per ridurre al massimo i tempi di intervento; allo stesso modo con poco preavviso è difficile (a meno di non essere viaggiatori abituali) riuscire a svolgere tutte le vaccinazioni e seguire le varie profilassi in tempi brevi; le spese di viaggio sono considerevoli così come quelle di alloggio: pur essendo il costo della vita in India estremamente basso le strutture ricettive per occidentali hanno costi paragonabili a quelli europei. Il trasporto degli strumenti rappresenta una delle difficoltà maggiori: di varie compagnie di assicurazione da noi contattate nessuna è stata in grado di fornire una copertura assicurativa contro il furto o il danneggiamento degli strumenti in paesi fuori dall'UE; l'inviare tutto l'equipaggiamento tramite corriere, se da un lato garantisce una certa copertura almeno durante il trasporto in India, rende l'intero processo molto più lungo, complesso (non è detto che il materiale venga inviato fino alla destinazione finale non essendo la rete di distribuzione capillare come in Europa) e costoso; inoltre l'invio deve essere previsto con largo anticipo per avere la sicurezza di disporre degli strumenti all'arrivo del team indipendentemente dai tempi di sdoganamento delle merci. Il metodo più sicuro e rapido è allora quello di portare gli strumenti con sé cercando, se possibile, di imbarcarli sull'aereo come bagaglio a mano per sincerarsi che non vengano troppo maltrattati durante il viaggio. Ancora una volta l'operazione è complicata dal fatto che gli strumenti topografici, per motivi di design, con tutti i loro bottoni, cavi, batterie, etc. tendono, almeno agli occhi dei doganieri, ad assomigliare ad ordigni esplosivi high-tech: è fondamentale scegliere coincidenze "comode" in aeroporto perché i tempi di superamento dei controlli di sicurezza possono diventare piuttosto lunghi.

Una volta arrivati a destinazione altri problemi si manifestano: alle differenze linguistiche con la popolazione locale si somma la difficoltà di comprendere usanze e abitudini locali: il sistema delle caste in India, ad esempio, condiziona pesantemente i rapporti tra gli indiani ma anche, di riflesso, quelli fra gli stranieri e gli indiani; dover interrompere le operazioni di misura a metà pomeriggio perché gli animali della foresta cominciano a spostarsi in cerca di cibo e acqua appare ingenuamente strano a chi, abituato alla fauna della pianura padana, non ha mai pensato di poter diventare la portata principale di una cena mentre sta mettendo in stazione un teodolite; durante la nostra permanenza nel West Bengala si sono svolte elezioni politiche durante le quali la vita del paese si blocca: non è possibile trovare un trasporto per raggiungere i siti da rilevare.

A questo vanno aggiunti altri ostacoli e limitazioni di cui eravamo consci prima ancora della nostra partenza e che rendevano più difficoltoso il raggiungimento degli obiettivi: il rilievo doveva essere realizzato con urgenza avvicinandosi il periodo delle piogge che, di fatto, interrompe fino al suo termine la maggior parte delle attività della regione; non era pensabile realizzare voli fotogrammetrici da aereo o elicottero perché lo stato di militarizzazione delle regioni rende l'iter autorizzativo del volo troppo impegnativo (se non impossibile); le reti infrastrutturali esistenti per raggiungere le destinazioni da rilevare sono in certi casi addirittura fatiscenti: in alcuni orari della giornata si formano code interminabili di veicoli e, per quanto si cerchi di pianificare con intelligenza le operazioni di misura, inevitabilmente si hanno perdite di tempo non trascurabili.

L'autorevolezza delle donne, soprattutto in ambito lavorativo, in questi paesi è spesso messa in discussione in favore di quella degli uomini, per cui se nel gruppo sono presenti (come nel nostro caso) donne, per loro è molto più difficile farsi ascoltare e riuscire a gestire la collaborazione dei lavoratori locali.

Questa che è una cronaca semiseria di alcune delle disavventure e delle difficoltà che il nostro

gruppo ha dovuto affrontare durante la permanenza in India avrebbe assunto toni più drammatici senza il supporto logistico e l'organizzazione in sito da parte del personale di Geodata, che già da diverso tempo opera in questa regione e dispone di una struttura in grado di fornire supporto immediato forte dell'esperienza di anni di lavoro in aree di questo tipo.

Opportunamente avvisati delle difficoltà che avremmo affrontato durante lo svolgimento del lavoro e consci di dover prevedere delle modalità di intervento particolarmente rapide e flessibili si è pensato di applicare in questo rilievo alcune delle tecniche sul cui sviluppo da diversi anni il nostro dipartimento è impegnato.

Metodologie speditive di rilievo fotogrammetrico terrestre

I rilievi in West Bengala prima e quelli in Kashmir poi sono stati utili per mettere a punto una procedura di rilievo estremamente speditiva che fa uso di tecniche avanzate di fotogrammetria terrestre per realizzare modelli digitali di superficie. Vengono acquisite ed elaborate sequenze di immagini appoggiate su punti acquisiti rapidamente tramite stazione totale no-prism di grande portata, capace di produrre monografia dei punti collimati. Nel caso del West Bengala l'acquisizione è stata condotta da un team di esperti estremamente ridotto (2 persone) ottenendo comunque elevate precisioni grazie alla capacità di adattare la ripresa delle immagini alle caratteristiche peculiari di ciascun sito; nel caso del Kashmir, essendo le condizioni di presa molto più semplici, non è stato necessario prevedere l'utilizzo di personale esperto: l'acquisizione delle immagini è stata effettuata dal personale già presente in sito tramite una comune macchina digitale, precedentemente calibrata; la determinazione di punti d'appoggio può essere demandata a topografi locali o ancora una volta al personale presente in loco: spesso, in particolare quando il rilievo interessa aspetti di dettaglio, non è richiesta una precisione particolarmente elevata in termini di georeferenziazione, mentre il poter disporre di un modello digitale rappresentativo della situazione reale dei luoghi è determinante per una buona progettazione; non è dunque indispensabile che questa fase sia seguita da topografi esperti.

Anche se i programmi di orientamento automatico e generazione del DTM hanno un buon livello di automazione, il giudizio sui risultati consiglia la supervisione di un esperto. Pertanto l'elaborazione viene effettuata in sede, inviando i dati via internet, anche per motivi di potenza di calcolo a disposizione. Completare il più rapidamente possibile le elaborazioni permette un'eventuale ripetizione delle misure o un intervento mirato a raccogliere eventuali informazioni mancanti.

L'orientamento è effettuato con algoritmi di Structure From Motion (SFM); pur in assenza dell'appoggio a terra, già in questa fase è possibile evidenziare possibili lacune o problemi del rilievo fotogrammetrico. Immediatamente dopo l'orientamento viene generato il DSM per mezzo di algoritmi di correlazione di immagine densi: anche in questo caso è possibile in tempi relativamente brevi (da alcuni minuti ad 1-2 ore, in relazione alla risoluzione richiesta) evidenziare possibili problemi: cattiva illuminazione della scena, mancanza di tessitura degli oggetti, variazioni troppo grandi del punto di vista, occlusioni, etc. Anche in questo caso, la tempestività della risposta permette di comunicare al personale in sito le problematiche emerse e suggerire eventuali provvedimenti.

I modelli prodotti nel sito del West Bengala contenevano percentuali rilevanti di punti determinati sulla vegetazione: caso per caso sono state applicate procedure di filtraggio automatico e semi-automatico dei dati, per arrivare in tempi brevi ad un DTM qualitativamente corretto.

La procedura ed i codici di calcolo sono strutturati in modo da poter inserire in qualsiasi momento i dati d'appoggio per la georeferenziazione; in tal modo il processo non subisce interruzioni o sospensioni in attesa delle coordinate dei punti d'appoggio.

Orientamento automatico

In fotogrammetria terrestre la grande varietà di situazioni sia in termini di risultati attesi, sia in termini di vincoli operativi rende assai delicata la fase di orientamento del blocco e la sua importanza sull'intera procedura, in virtù soprattutto del fatto che le caratteristiche del blocco non

sono sempre. Anche in questo ambito tuttavia le procedure di orientamento automatico con algoritmi di Structure From Motion (SFM) hanno raggiunto livelli di affidabilità elevati (Hartley et al., 2004). Inizialmente vengono estratte sulle immagini, per mezzo di opportuni operatori di interesse e di descrittori (Bay et al., 2008), una serie di elementi (solitamente puntuali) che, con un certo grado di probabilità siano riscontrabili su diversi fotogrammi.

Si procede poi, per mezzo di opportuni criteri geometrici e radiometrici, ad individuare le corrispondenze “putative” fra coppie di fotogrammi e a propagare tali corrispondenze lungo la sequenza.

A questo punto con un metodo di stima robusto si determina una geometria di presa preliminare eliminando nello stesso tempo le corrispondenze sbagliate. Si noti che si perviene a questo risultato grazie soltanto alla struttura del segnale radiometrico analizzata dagli operatori di interesse, all’efficienza nel selezionare gli accoppiamenti corretti nel confronto dei descrittori e alla robustezza del metodo di stima della geometria epipolare e trifocale. Imponendo infine la conoscenza dei parametri di orientamento interno si ottiene una ricostruzione conforme (ovvero equivalente a meno di una trasformazione di similitudine) del blocco e dell’oggetto considerato.

Tali parametri possono essere noti a priori o essere stimati (seppur con un grado di approssimazione a volte non adeguato) direttamente dalle corrispondenze già determinate. In altre parole la ricostruzione conforme dell’oggetto e del blocco può avere luogo anche nel caso in cui siano parzialmente o completamente incogniti i parametri di calibrazione della camera utilizzata. Si calcola infine una stima ottimale (in termini di massima verosimiglianza), utilizzando i risultati ottenuti come parametri approssimati di un sistema risolvibile a minimi quadrati (*bundle adjustment*) in cui possono essere inserite informazioni aggiuntive sul blocco (punti d’appoggio, interdistanze note, orientamenti etc...). L’introduzione dei punti d’appoggio, ovviamente, permette anche di risolvere l’ambiguità legata al sistema di riferimento terreno. Si arriva così alla definizione completa dei parametri di orientamento esterno ed interno di ciascun fotogramma (*Motion*) oltre che della geometria della scena (*Structure*), definita dai punti accettati come corrispondenze corrette dal *bundle adjustment*.

Un algoritmo di Structure From Motion (SFM) in grado di orientare automaticamente una generica sequenza di immagini close-range è stato implementato nel programma Eyedea, sviluppato lo scorso anno presso dagli autori. Il programma, pensato per gestire l’orientamento dei blocchi, possiede un’interfaccia grafica che consente agli utenti di misurare i punti immagine in modo manuale o semiautomatico (selezionando cioè un punto su un’immagine, il software provvede, tramite una procedura di matching, a individuarne gli omologhi sulle altre immagini del blocco); si possono così infittire eventualmente i punti di legame in zone critiche e misurare i punti di appoggio. A valle della SFM l’utente può elaborare con il bundle adjustment l’intero blocco o solo una parte. Un serie di parametri controllano l’esecuzione delle diverse fasi ed un report riassume i risultati di ciascuna.

Ricostruzione del DSM

I metodi di correlazione d’immagine vengono da tempo impiegati per la generazione di DSM. La tecnica più semplice, come noto, è quella che utilizza il coefficiente di correlazione fra i toni di grigio di una finestra rettangolare su un’immagine di riferimento (*template*) ed quelli di una finestra di uguali dimensioni su un’altra immagine (*patch*). Nel momento in cui intervengono trasformazioni non trascurabili fra le due immagini (rotazioni, cambiamenti di scale, differenti punti di vista, etc.) con il coefficiente di correlazione non si è più in grado di valutare se due punti su due immagini differenti sono effettivamente omologhi. Conviene allora stimare a minimi quadrati una trasformazione della patch (solitamente una affine) tale da ottimizzare la corrispondenza dei toni di grigio fra le due finestre (*Adaptive Least Squares Matching – LSM*, (Gruen, 1985)). Nel caso in cui i fotogrammi siano orientati, si possono inoltre utilizzare come vincolo aggiuntivo anche le equazioni di collinearità impiegando contemporaneamente anche più di due immagini (*Multi-Photo Geometrically Constrained Matching – MGCM* (Gruen et al., 1988)).

In questo caso le equazioni di collinearità, usate come vincolo geometrico nella stima, forniscono un più elevato grado di affidabilità e, se si dispone di parametri di orientamento sufficientemente precisi, migliorano le precisioni dei punti restituiti.

Dense Matcher è un pacchetto software per la generazione di DSM sviluppato presso il DICATeA e basato su algoritmi di correlazione area-based. Esso implementa sia la versione stereo (LSM) sia, nel caso di più immagini, la versione MGCM. Il codice è in grado di funzionare in modalità multi-processore raggiungendo velocità di produzione superiori ai 1000 punti al secondo.

Metodologie speditive di rilievo fotogrammetrico terrestre

Lo scopo del rilievo in West Bengala era di produrre una serie di modelli digitali del terreno di alcuni portali di imbocco (per uno sviluppo di circa 150-200 m in planimetria e per circa 30-50 m in altimetria) delle gallerie ferroviarie che andranno realizzate nel tratto che collegherà Sivok con Rangpo. Dal modello digitale si sarebbe poi dovuto desumere una rappresentazione a curve di livello della morfologia delle diverse zone e, in un secondo momento, essere in grado di estrarre sezioni o altre informazioni ritenute significative per le successive fasi della progettazione. Lo scopo dei rilievi in Kashmir era sostanzialmente analogo, ma le aree da rilevare avevano estensione più limitata; inoltre il rilievo era maggiormente finalizzato ad individuare spazialmente con chiarezza eventuali interferenze (edifici, alberi, manufatti, etc.) con il tracciato dell'infrastruttura.

In entrambi i casi si è ritenuto che una precisione di circa 5-10 cm e una risoluzione sul terreno di circa un punto ogni 5-10 cm fosse più che sufficiente per garantire tutte le informazioni necessarie anche nelle fasi successive della progettazione.

Di seguito vengono brevemente descritte le scelte tecniche implementate in ciascun rilievo e vengono presentati alcuni dei risultati ottenuti.

Il rilievo in West Bengala ha richiesto circa 10 giorni di permanenza in sito per un team di due persone: il rilievo vero e proprio è stato svolto in circa 5 giorni e i restanti 5 sono stati necessari per i trasferimenti, un giorno è stato trascorso in albergo in corrispondenza delle elezioni che hanno interrotto tutte le attività, mentre un altro è stato necessario all'arrivo per organizzare il lavoro. Al ritorno in Italia, essendo già a buon punto le elaborazioni delle immagini, in circa dieci giorni il lavoro è stato terminato con tutte le restituzioni e la redazione della documentazione tecnica.

Il rilievo in Kashmir è stato ancora più rapido (il numero di siti e la loro estensione erano però assai inferiori) in quanto l'acquisizione è stata svolta da personale già in sito in concomitanza con altre attività; per l'elaborazione dei dati sono stati sufficienti circa dieci giorni: in questo caso le operazioni di restituzione risultano in parte rallentate perché l'acquisizione del blocco da parte di personale non esperto in fotogrammetria fa sì che la configurazione del blocco non sia ottimale, richiedendo maggiori sforzi in fase di restituzione per raggiungere i livelli qualitativi richiesti. In un caso, essendo risultate inadeguate le basi di presa (troppo ridotte) non è stato possibile produrre il modello digitale del terreno.

Il rilievo in West Bengala

Nel rilievo in West Bengala è stata utilizzata una camera digitale Nikon D3X da 24 Mpixel con sensore FX e ottiche calibrate Nikkor da 18, 35 e 50 mm. Per il rilievo dei punti d'appoggio sono stati impiegati ricevitori GPS Leica (modello 1200 e 500) e stazione totale Topcon IS 203 in grado, fra l'altro, grazie ad una camera integrata e coassiale al cannocchiale di acquisire immagini dei punti rilevati. Il suo utilizzo permette una scelta più veloce dei punti d'appoggio per il blocco fotogrammetrico e mette in grado anche il personale in sede di procedere con le fasi di orientamento.

I rilievi in zone così impervie obbligano ad adattare la struttura geometrica del blocco in maniera piuttosto flessibile alle specifiche condizioni; in questi casi si manifesta il valore aggiunto fornito da un fotogrammetra esperto rispetto al personale non addestrato. Ad esempio, in uno degli imbocchi prossimi a Rangpo (figura 2.a) la vegetazione interessa solamente la parte sommitale dell'imbocco ed è costituita prevalentemente da alberi ad alto fusto non eccessivamente fitti; la

parte inferiore della parete, invece, presenta roccia scoperta e può pertanto essere ricostruita con livelli di risoluzione e dettaglio elevati: dal modello digitale sarebbe infatti possibile ricavare anche informazioni geostrukturali tramite analisi di stabilità. Si è deciso quindi di produrre un modello digitale (figura 2.b) costituito da porzioni contigue e distinte a diversa risoluzione: la parte basale maggiormente dettagliata e quella sommitale, costituita dalle zone vegetate, opportunamente filtrata per considerare solamente punti sul terreno e inevitabilmente con un livello di dettaglio molto inferiore.



Figura 2 – Una delle zone di imbocco in prossimità di Rangpo: 2.a (a sinistra) una delle immagini utilizzate per ricostruire il DSM; 2.b (a destra) il modello digitale del terreno restituito.

Le immagini potevano essere acquisite solo dal versante opposto della vallata, muovendosi sul crinale di una ripida collina che scende verso il fiume Rangpo Chu: optare per prese pseudo-nadirali muovendosi parallelamente alla giacitura del fronte avrebbe prodotto una base di presa complessiva insufficiente; muoversi lungo il greto del fiume, pur rappresentando una buona alternativa in termini fotogrammetrici era piuttosto pericoloso e avrebbe richiesto troppo tempo.

Si è quindi ripreso un blocco muovendosi a zig-zag lungo il fianco della collina (figura 3) cercando disporre le prese sia in direzione orizzontale sia in direzione verticale per diversificare il più possibile gli angoli di vista: il rapporto massimo in entrambe le direzioni fra base di presa e distanza dall'oggetto è pari circa a 1 a 13. Per quanto riguarda l'orientamento dei fotogrammi il fatto che tutte le immagini inquadrino sostanzialmente la stessa area fa sì che la molteplicità dei punti di legame sia particolarmente elevata; utilizzando metodi di correlazione multi-immagine (MGCM) la ricostruzione del DSM, nonostante le piccole basi di presa, è assai poco rumorosa.

L'utilizzo della stazione totale IS203, che fra le altre caratteristiche ha anche la possibilità di raggiungere portate particolarmente elevate nella misura di distanza (fino a circa 1 km nelle normali condizioni operative), ha permesso di individuare un numero elevato di punti d'appoggio lungo tutto il bordo della zona di interesse in tempi estremamente brevi (circa 30 minuti). Durante l'operazione i due GPS sono stati messi in funzione in prossimità della stazione totale in modo da fornire la georeferenziazione al blocco. Complessivamente per l'acquisizione delle immagini, dei dati di georeferenziazione, e la misura dei punti d'appoggio sono state sufficienti un paio d'ore.

Per quanto riguarda la zona retrostante la parete, in gran parte coperta da vegetazione d'alto fusto sulla quale comunque sono stati rilevati punti dall'algoritmo di correlazione, per il filtraggio si è sfruttata la densità di punti relativamente elevata (circa 5 per mq).

Sono stati applicati sia un filtro minimo sia un mediano su griglia di ampiezze sufficienti (da 5x5 a 20x20 m) per eliminare le chiome degli alberi. In tal modo la superficie involucro del minimo rappresenta la miglior approssimazione della superficie in presenza di vegetazione; la superficie mediana è invece una miglior descrizione nelle zone con vegetazione rada. Dopo aver approssimativamente contornato le zone più ampie di terreno aperto, i dati filtrati sono stati interpolati su griglia di passo 5 m con un interpolatore liscio (inverso della distanza) su un raggio di qualche decina di metri.

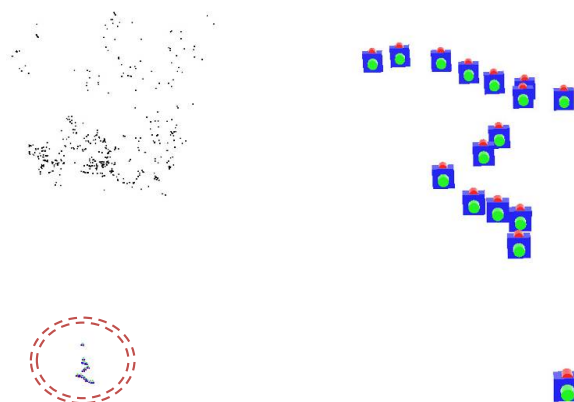


Figura 3 – Configurazione geometrica del blocco realizzato in prossimità di Rangpo.

Il secondo caso ritenuto interessante riguarda un'altra area di imbocco (Tumthang Khola) in corrispondenza di un tratto di foresta: in questo caso la difficoltà maggiore consisteva nel fatto che per seguire lo sviluppo piuttosto articolato del fronte e potendosi muovere solo nelle sue immediate vicinanze a causa degli ostacoli rappresentati dagli alberi, il numero di fotogrammi per riprendere la scena era particolarmente elevato (figura 4).

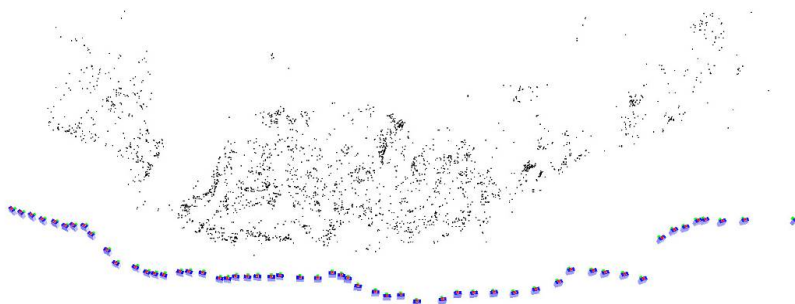


Figura 4 – Sviluppo del blocco fotogrammetrico nell'imbocco del Tumthang Khola.

Il blocco è costituito da 55 immagini che si sviluppano su una lunghezza di circa 100 metri seguendo una traiettoria all'incirca parallela all'andamento del terreno in corrispondenza dell'imbocco; spesso fra un'immagine e la successiva si notano bruschi cambiamenti di prospettiva dovuti al fatto che, per evitare gli alberi, il percorso seguito è piuttosto irregolare.

Indipendentemente da ciò il blocco è sufficientemente rigido: mediamente su ciascuna foto sono stati individuati 240 punti di legame corrispondenti complessivamente a più di 2800 punti terreno, con una ridondanza media di circa 5 collimazioni per punto. L'utilizzo della stazione totale ha permesso di individuare rapidamente un elevato numero di punti d'appoggio in corrispondenza di elementi naturali sul terreno; il fatto di disporre di una monografia fotografica dei punti misurati ha consentito di riconoscere e impiegare quasi tutti i punti misurati. Complessivamente per le operazioni di acquisizione delle immagini sono stati sufficienti solo pochi minuti; i punti d'appoggio sono stati rilevati da tre stazioni di poligonale, il che ha allungato un po' i tempi di lavoro (circa un'ora). In realtà il tempo maggiore è stato speso, in questo caso, per collegare, sempre con una poligonale sviluppata nella foresta, i punti di stazione usati per la misura dei punti

d'appoggio con due posizioni in un'area senza vegetazione in cui fosse possibile acquisire con sufficiente tranquillità il segnale GPS per la georeferenziazione del rilievo. L'orientamento automatico della sequenza ha richiesto invece meno di un'ora e ha permesso, già durante le operazioni di rilievo, di verificare se fossero necessarie ulteriori immagini o misure. In figura 5 viene presentata la ricostruzione del DSM dell'imbocco.

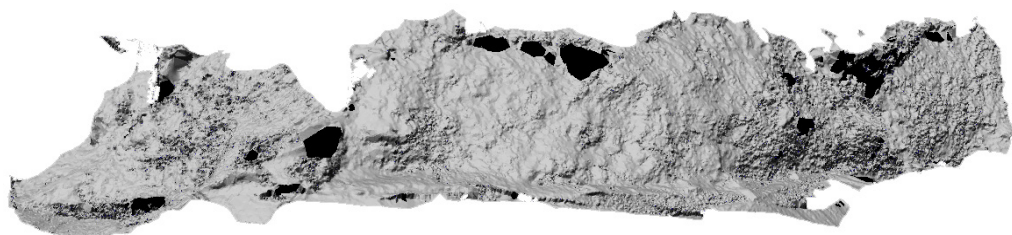
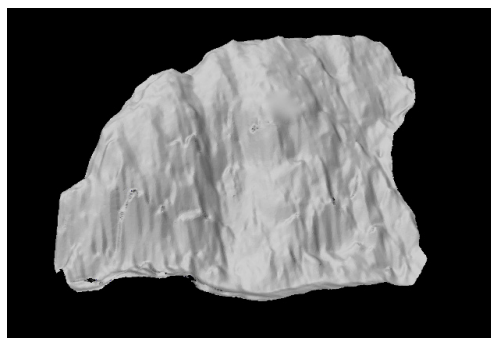


Figura 5 – Modello digitale di superficie dell'imbocco del Tumthang Khola.

L'ultimo caso ritenuto d'interesse per i rilievi in West Bengala è rappresentato dal sito del Teesta Bridge (vedi la foto di fig. 6a) in cui è stato maggiormente necessario utilizzare operazioni di filtraggio della vegetazione perché DenseMatcher ha riconosciuto moltissimi punti sulla vegetazione (la nuvola di punti colorata esportata delinea tronchi rami e fogliame). In questo caso ci si è ispirati ad una tecnica proposta da Kraus e Pfeifer (1998) che prevede la ripetizione della stima di una superficie più volte, eliminando ad ogni passo i punti con residui positivi (ovvero in linea di massima dei punti appartenenti alla vegetazione) ed eseguendo delle medie locali robuste; in alcune zone, in particolare in corrispondenza dei salti di roccia, è stata anche necessaria una preliminare rimozione manuale per evitare un eccessivo liscio del risultato.



a.



b.

Figura 6 – Una delle zone di imbocco in prossimità del ponte sul fiume Teesta: 6.a (a sinistra) uno dei fotogrammi che mostra la vegetazione fitta che ricopre la parete; 6.b (a destra) il modello digitale del terreno filtrato.

Grazie alla sovrabbondanza di dati grezzi (circa 120 pti per mq), è stato possibile decimare il set iniziale senza perdere troppa risoluzione sul terreno; la griglia finale è stata ottenuta applicando nuovamente un interpolatore in funzione dell'inverso della distanza, includendo i punti in un raggio di pochi metri. In figura 6 b è mostrato il risultato ottenuto dopo il filtraggio dei dati.

Il rilievo in Kashmir

Nel rilievo in Kashmir ci si è avvalsi di personale Geodata Engineering già presente sul posto per l'acquisizione dati; in questo caso infatti l'organizzazione di una trasferta del team di fotogrammetri si presentava troppo complessa e costosa; al tempo stesso le condizioni particolarmente favorevoli per la presa dei fotogrammi in tutti i siti e la minor influenza della vegetazione rendevano la soluzione scelta del tutto ragionevole.

Per l'acquisizione delle immagini è stata utilizzata una camera digitale Nikon D3100 da 14 Mpixel con ottiche calibrate Nikkor da 18 mm con sensore DX (focale equivalente pari a 27 mm). Per la determinazione dei punti d'appoggio ci si è avvalsi di topografi locali che hanno individuato su fotografie digitali delle diverse pareti la posizione approssimata dei punti. Andando ad individuare i punti più caratteristici e verificando che i residui del bundle adjustment non risultassero troppo elevati, è stato possibile individuare con buona affidabilità i punti d'appoggio effettivamente misurati.

In figura 7 viene mostrato il primo blocco realizzato: 10 immagini, tutte con basi di presa piuttosto piccole inquadrano complessivamente una porzione di parete di circa 80-100 m di sviluppo planimetrico per 50-60 m di sviluppo verticale. E' possibile notare a destra come alcune zone del modello digitale presentino delle lacune dovute ad occlusioni che avrebbero potuto essere colmate riprendendo altre immagini da posizioni differenti. Tuttavia nel complesso la completezza del modello è più che soddisfacente ed adeguata per le fasi di progettazione.

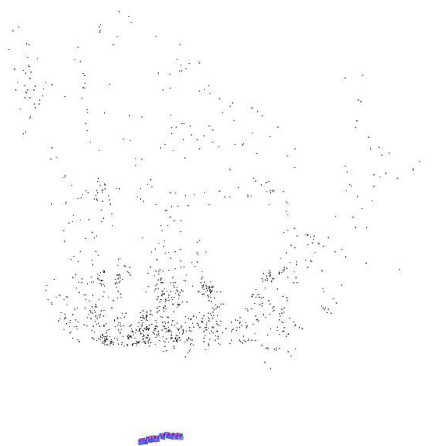
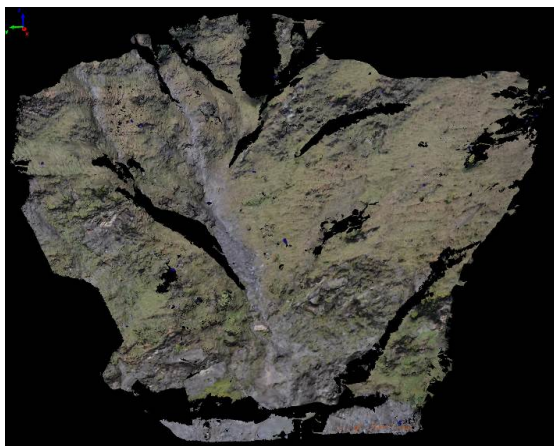


Figura 7 – Una delle zone di imbocco nei rilievi in Kashmir: (a sinistra) è visibile la struttura del blocco e i punti di legame utilizzati durante l'orientamento; (a destra) il modello digitale del terreno con applicate le informazioni radiometriche desumibili dai fotogrammi.

Il secondo sito realizzato riguarda l'imbocco classificato T74: per esso valgono considerazioni del tutto analoghe al precedente. In figura 8 vengono presentati il risultato della fase di orientamento automatico della sequenza e il modello digitale restituito.

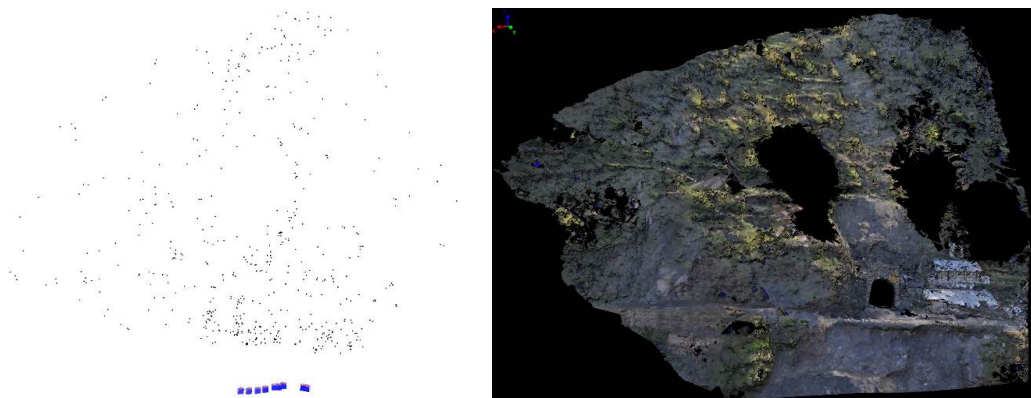


Figura 8 – La zona di imbocco T74: (a sinistra) la struttura del blocco e i punti di legame; (a destra) il modello digitale del terreno.

Conclusioni

Lavorare in paesi lontani (soprattutto culturalmente) dal nostro è un'esperienza impagabile sotto molti punti di vista (non tutti strettamente professionali). Trovarsi in condizioni operative limite, affrontare continue difficoltà e dover individuare rapidamente soluzioni, a volte anche non convenzionali, ai problemi che si presentano rende il lavoro stimolante; vedere i risultati prendere forma in maniera così rapida è di grande soddisfazione per tutte le persone coinvolte.

Riteniamo che in ambiti simili a quelli presentati la fotogrammetria terrestre possa rappresentare uno strumento estremamente potente per realizzare una base conoscitiva dei luoghi accurata, completa e dai costi di realizzazione tutto sommato contenuti. La possibilità di demandare la fase di acquisizione dei dati, in molti casi piuttosto semplice, a personale con un minimo di addestramento nelle discipline geomatiche, e di far elaborare i dati in Italia da personale specializzato consente di raggiungere elevati livelli di efficienza senza compromettere la qualità del prodotto.

Bibliografia

Hartley, R.I., Zisserman A. (2004). "Multiple View Geometry in Computer Vision". *Cambridge University Press*, UK, 2nd ed., 672 pp.

Bay H., Ess A., Tuytelaars T., Van Gool L. (2008) "SURF: Speeded Up Robust Features", *Computer Vision and Image Understanding (CVIU)*, Vol. 110, No. 3, pp. 346-359.

Gruen A. (1985) "Adaptive Least Squares Correlation: A Powerful Image Matching Technique", *South African Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Cartograph.* Vol. 14. pp. 175-187.

Gruen A., Baltsavias E. P. (1988) "Geometrically Constrained Multiphoto Matching". *PERS*, vol. 54, no. 5, pp 663-671.

Kraus K., Pfeifer N. (1998). "Determination of Terrain Models in Wooded Areas with Airborne Laser Scanner Data" *ISPRS Journal of Photogrammetry & R. S.*, vol. 53, pp. 193-203.

Variazioni forestali in un'area dell'Appennino Emiliano

Davide Rondini

Via Abbazia 18/A, Campagnola Emilia (RE), 3385625152
davide.rondini@studio.unibo.it

Riassunto

Il presente lavoro confronta due tecniche operative per individuare cambiamenti di copertura in ambito forestale sull'Appennino emiliano. I due metodi analizzati sono:

- la variazione dell'NDVI tra immagini dei vari anni,
- la variazione del valore delle bande del vicino infrarosso normalizzate con il metodo Ir-MAD.

Per realizzare questo studio sono state utilizzate due immagini del satellite LANDSAT 5 TM acquisite nelle date del 13/09/1987 e del 21/08/2008 e diverse ortofoto tra il 1976 ed il 2008. Il *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) è stato calcolato su tutte le immagini satellitari. Successivamente è stato effettuato il confronto tra i valori dell'indice nelle due date. Sulle stesse immagini è stato fatto il confronto tra le bande 4 (0,76 – 0,90 μm , vicino infrarosso) normalizzate. Il procedimento di normalizzazione scelto è stato l'Ir-MAD. Per il confronto sono state usate le stesse classi di cambiamento usate per le variazioni di NDVI. Attraverso le ortofoto sono state individuate 5 aree per valutare l'accuratezza dei metodi scelti per i cambiamenti in ambito forestale. Il confronto tra NDVI è risultato il metodo che ha dato i risultati migliori.

Abstract

This paper compares two operative techniques to identify changes in Emilian Apennines forest cover. The two methods analyzed are:

- *the change in NDVI between the images of several years,*
- *the change of value of the near-infrared bands normalized with the Ir-MAD method.*

To carry out this study, I used two LANDSAT 5 TM satellite images acquired of 13/09/1987 and 21/08/2008 and several orthophotos from 1976 to 2008. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) was calculated on all the satellite images. It was subsequently made the comparison between the values of the index the two dates. On the same images it has been made the comparison between the normalized bands 4 (0.76 to 0.90 μm , NIR). The choose of normalization process was Ir-MAD. Thanks to orthophotos I identified 5 areas to value the accuracy of the two methods. Comparison of NDVI was the method that gave the best results.

Scopo dell'elaborato

Lo scopo di questa studio è di valutare quale tra i seguenti metodi meglio si presti per il monitoraggio automatico delle variazioni forestali in un'area dell'Appennino, attraverso l'uso di immagini telerilevate da satellite:

- confronto le variazioni dell'indice NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) tra le immagini dei vari anni;
- la variazione del valore delle bande del NIR (0,76 – 0,90 μm) normalizzate con il metodo Ir-MAD.

Il periodo considerato copre un ventennio.

Inquadramento dell'area

L'area di studio si colloca sull'Appennino emiliano, tra le province di Bologna e Modena (Figura 1 – *L'area di studio*). La superficie è pari a 108.412 ha e comprende i comuni di: Castel D'Aiano, Castello di Serravalle, Gaggio Montano, Grizzana, Guiglia, Marzabotto, Savigno, Vergato e Zocca.

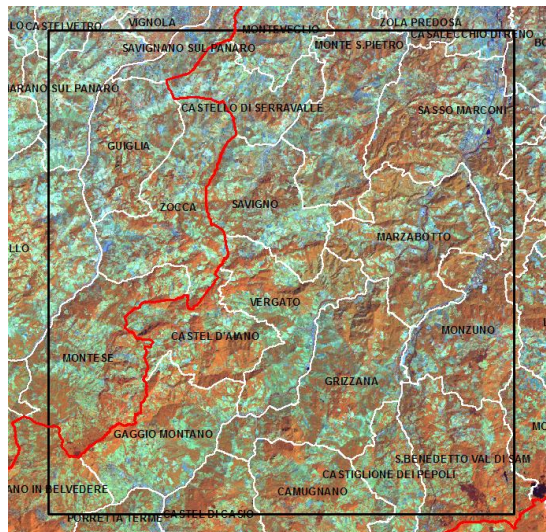


Figura 1 – *L'area di studio*.

L'area presenta un'altimetria variabile tra i 57 ed i 1.150 m sul livello del mare. Data la variabilità di quota sono presenti nell'area diverse fasce fitoclimatiche (Piussi, 1994) quali il Lauretum, il Castanetum e Fagetum. Le formazioni forestali presenti sono: boschi ripariali, pioppeti artificiali, boschi collinari submontani e fagete.

Materiali utilizzati

Per questa analisi sono state usate:

- due immagini del satellite LANDSAT 5 TM del 13/09/1987 e del 21/08/2008;
- la carta di uso del suolo in formato vettoriale del 2003 della Regione Emilia-Romagna, avente una superficie minima mappabile pari a 1,5 ha (Regione Emilia-Romagna, 2008);
- Ortofoto aeree acquisite nei seguenti periodi: 1976-78, 1985-86, 1988-89, 2008.

Le ortofoto sono state acquisite da voli della Regione Emilia-Romagna. Le foto aeree del 1976-78 hanno risoluzione geometrica pari a 1 m e sono a colori reali. Quelle acquisite durante gli anni '80 sono in B/N e hanno una risoluzione di circa 1 m. Infine le ortofoto del 2008 hanno risoluzione pari a 50 cm e sono a colori reali.

Preparazione delle immagini satellitari

Le immagini satellitari sono state georeferenziate attraverso la selezione di *ground control point* (GCP) in numero variabile tra 20 e 25 per ogni data. Il metodo di trasformazione utilizzato è stato di tipo polinomiale con ricampionamento *nearest neighbor* e risoluzione geometrica di 30 m. Le immagini sono state tutte registrate nel sistema di coordinate UTM32 WGS84.

Successivamente le immagini sono state tutte calibrate in riflettanza alla cima dell'atmosfera (TOA *reflectance*). Le formule utilizzate per questo procedimento sono quelle suggerite da Chander e Markham (2003). I coefficienti utilizzati sono stati presi dalla medesima pubblicazione scientifica e dai metadati delle immagini LANDSAT.

Calcolo e confronto tra NDVI

La clorofilla è causa di un grande assorbimento della radiazione incidente nelle lunghezze d'onda del rosso, mentre nelle lunghezze del NIR subisce una forte riflessione in funzione della densità della copertura e dello stato di salute della copertura stessa. Sfruttando queste caratteristiche viene definito il *Normalized Difference Vegetation Index* (Rouse *et al.*, 1973), noto come NDVI e avente la seguente formula **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**):

$$NDVI = (\rho_{nir} - \rho_r) \cdot (\rho_{nir} + \rho_r)^{-1} \quad [1]$$

dove ρ_r è la riflettanza alla cima dell'atmosfera nella banda del rosso (0,63-0,69 μm) e ρ_{nir} è la riflettanza nella banda del NIR (0,76-0,90 μm). L'NDVI è un indice che enfatizza il segnale della vegetazione fotosinteticamente attiva. Esso è matematicamente limitato nell'intervallo compreso tra -1 e +1. Diversi studi hanno dimostrato lo stretto rapporto esistente fra NDVI, il grado di chiusura delle chiome e la frazione di luce fotosinteticamente attiva assorbita (FPAR) dalla vegetazione (Law e Waring, 1994; Viña e Gitelson, 2005). È lecito pertanto aspettarsi che l'affermarsi della vegetazione (anche se non necessariamente forestale) porti ad un aumento dell'NDVI, in particolare durante il periodo estivo. L'impiego di un indice normalizzato permette di compensare in larga misura gli effetti topografici e quelli del diverso angolo di illuminazione del sole. Successivamente al calcolo dell'NDVI sulle due date indicate è stata calcolata la differenza tra le stesse. Al fine di rendere di più semplice interpretazione, i dati ottenuti sono stati classificati in 5 classi di variazione:

- *Change* (-2); se il valore è calato di più del 50 %
- *Change* (-1); se il valore è calato tra il 10 ed il 50 %
- *No Change*; se il valore è cambiato entro il 10 %, sia in positivo che in negativo
- *Change* (+1); se il valore è aumentato tra lo 10 ed il 50 %
- *Change* (+2); se il valore è aumentato di più del 50 %

Dopo aver calcolato la differenza in tutte le immagini sono state mascherate le aree non forestali grazie alla carta di uso del suolo. I risultati ottenuti dai confronti sono rappresentati nella seguente immagine (Figura 2 – Confronto tra gli NDVI calcolati sulle immagini satellitari del 13/09/1987 e del 21/08/2008).

e tabelle (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** e **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

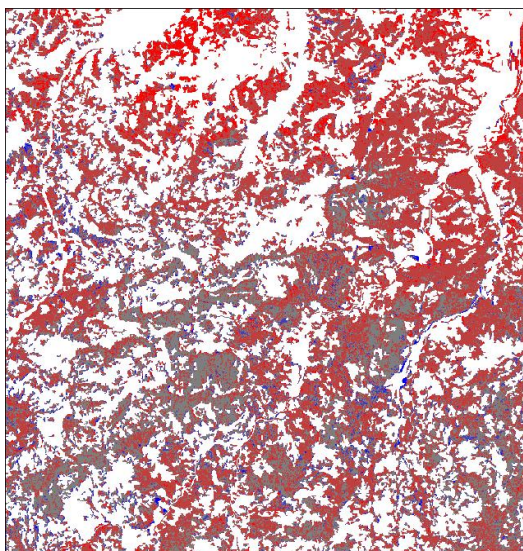


Figura 2 – Confronto tra gli NDVI calcolati sulle immagini satellitari del 13/09/1987 e del 21/08/2008.

Legenda:	
Change (+2)	
Change (+1)	
No Change	
Change (-1)	
Change (-2)	

Tabella 1 – Legenda delle immagini del confronto tra NDVI.

Classi	Pixel	Percentuale
Change (+2)	48.867	7,5
Change (+1)	368.291	56,1
No Change	185.957	28,3
Change (-1)	49.180	7,5
Change (-2)	3.881	0,6
Totali	656.176	100

Tabella 2 – Confronto tra NDVI calcolati nelle date del 13/09/1987 e del 21/08/2008.

Normalizzazione delle bande del NIR e confronto tra di esse

La normalizzazione delle immagini permette, scelta un'immagine di riferimento (detta *reference image*), di calibrare relativamente ad essa immagini, sempre sulla stessa area, ma acquisite in date differenti (dette *target images*) rendendole compatibili sia tra loro che con la *reference image*. Tra i diversi metodi di normalizzazione (Schott *et al.*, 1988; Hall *et al.*, 1991; Furby e Campbell, 2001; Moran *et al.*, 1992; Du *et al.*, 2002) è stato scelto l' *Iteratively re-weighted Multivariate Alteration Detection* (Ir-MAD) (Canty, Nielsen., 2008).

Nello studio effettuato è stata scelta come *reference image* l'immagine del 21/08/2008 su è stata normalizzata l'altra immagine del 13/09/1987. Per la normalizzazione sono stati usati i dati espressi in DN, quindi non calibrati. Nella normalizzazione si è scelto di effettuare 50 iterazioni, anche se l'algoritmo ne ha calcolate solo 16, non incontrando ulteriori differenze. La correlazione lineare delle bande delle due immagini e la successiva normalizzazione sono state effettuate utilizzando i pixel con una probabilità di non cambiamento superiore al 95%, corrispondenti a 1.719 pixel.

Una volta normalizzata la *target image* e la *reference image* sono state calibrate in riflettanza alla cima dell'atmosfera utilizzando i coefficienti di quest'ultima.

A questo punto, le bande del NIR (0,76-0,90 μm) sono state confrontate tra loro e classificate nelle 5 classi precedentemente usate per la variazione dell'NDVI. Infine sono state mascherate le aree non forestali utilizzando il vettoriale dell'uso del suolo. I risultati ottenuti dai confronti sono mostrati nella Figura 2 – Confronto tra le bande del NIR delle immagini satellitari del 13/09/1987 e del 21/08/2008 (in basso al centro), e nella Tabella 3 – Confronto tra le bande del NIR normalizzate del 13/09/1987 e del 21/08/2008..

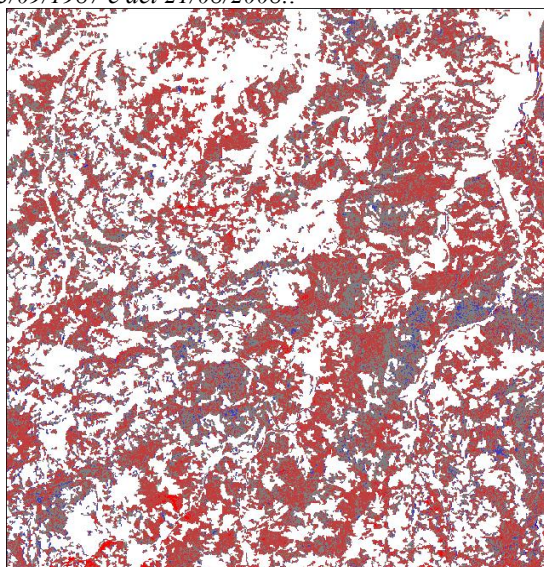


Figura 2 – Confronto tra le bande del NIR delle immagini satellitari del 13/09/1987 e del 21/08/2008 (in basso al centro).

Classi	Pixel	Percentuale
Change (+2)	9.466	1,44
Change (+1)	367.848	56,06
No Change	243.658	37,13
Change (-1)	34.907	5,32
Change (-2)	297	0,05
Totali	656.176	100

Tabella 3 – Confronto tra le bande del NIR normalizzate del 13/09/1987 e del 21/08/2008.

Verifica qualitativa delle aree forestali soggette a cambiamenti: metodologia operativa e risultati

I risultati dell'analisi della variazione della copertura vegetale basata su immagini satellitari LANDSAT TM sono stati verificati su di un limitato numero di aree campione. La verifica si è basata sul confronto qualitativo con le informazioni derivanti dalle ortofoto. Il confronto si è focalizzato su 5 aree (Figura 3 – *Immagine LANDSAT del 21/08/2008 (RGB: 4-5-3) su cui sono segnate*

le 5 aree usate per il confronto.) in cui, sulla base di un'analisi visiva delle ortofoto, sono o non sono avvenuti dei cambiamenti a livello forestale.

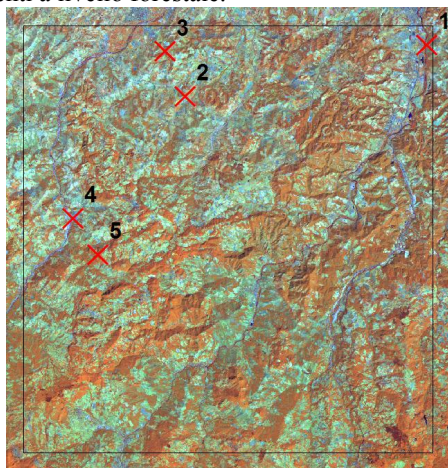
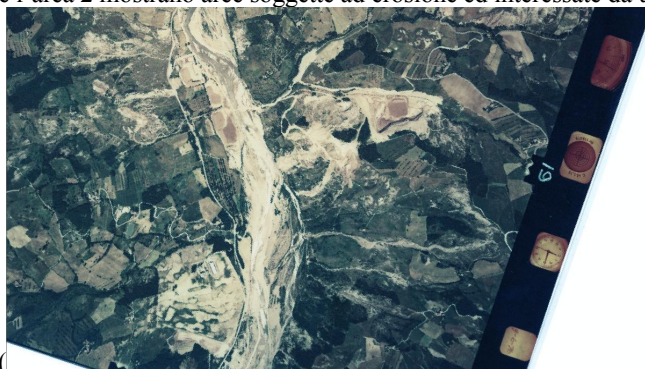


Figura 3 – Immagine LANDSAT del 21/08/2008 (RGB: 4-5-3) su cui sono segnate le 5 aree usate per il confronto.

L'area 1 e l'area 2 mostrano aree soggette ad erosione ed interessate da una progressiva rivegetazione.



L'area 3 (

Figura 6 – Ortofoto sull'area 4 acquisita nel periodo 1976-78.



Figura 7 mostra un'area agricola che nel tempo è stata soggetta ad abbandono ed in cui si sta riaffermando la vegetazione spontanea. L'area 4 (Figura 7 – Ortofoto sull'area 4 Acquisita nel 2008. **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** si trova in prossimità di un'area estrattiva, che nel tempo ha cambiato forma e, nell'ultimo periodo, si è espansa. L'area 5 non mostra particolari cambiamenti nell'arco del tempo, ad esclusione di un'area di frana e della presenza di vegetazione rada nell'ortofoto del 1976, forse a causa di un taglio rado in bosco.

Il confronto tra gli NDVI ha dato i risultati attesi riguardo sia alle zone che hanno avuto un incremento della vegetazione (aree 1, 2 e 3) (Figura 9 – *Confronto tra bande del NIR normalizzate sull'area 3.*) sia per le aree soggette a calo della copertura (area 4) (Figura 11 – *Confronto tra bande del NIR normalizzate sull'area 4.* che per quella in cui non si sono avuti cambiamenti significativi (area 5 - Figura 13 – *Confronto tra bande del NIR normalizzate sull'area 5.*).

Il metodo del confronto tra le bande del NIR normalizzate, utilizzando sempre le ortofoto dell'intervallo 1987-2008, ha individuato, seppur in modo non del tutto certo, le aree soggette ad un aumento della superficie vegetale (aree 1, 2 e 3) (Figura 9 – *Confronto tra bande del NIR normalizzate sull'area 3.*). Riguardo alle superfici in cui si è avuto un calo della vegetazione (area 4 - Figura 11 – *Confronto tra bande del NIR normalizzate sull'area 4.*) questo metodo mostra delle difficoltà nel riconoscimento di queste zone, scambiandole spesso per aree in cui non è avvenuto nessun cambiamento e inserendole nella classe di “No Change”. Il mancato riconoscimento di queste dinamiche può essere dovuto dalla riflessione che i suoli nudi hanno nel NIR, forse simile alla riflessione della vegetazione. La zona non soggetta a nessun cambiamento evidente (area 5 - Figura 13 – *Confronto tra bande del NIR normalizzate sull'area 5.*) risulta descritta come di lieve incremento.



Figura 4 – Ortofoto sull'area 3 acquisita nel periodo 1976-78.

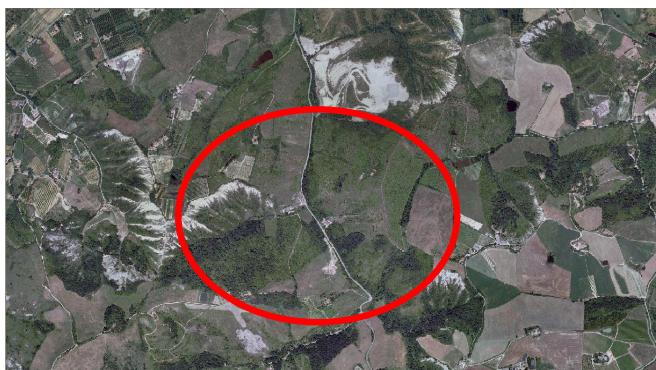


Figura 5 – Ortofoto sull'area 3 acquisita nel 2008.



Figura 6 – Ortofoto sull'area 4 acquisita nel periodo 1976-78.



Figura 7 – Ortofoto sull'area 4 Acquisita nel 2008.

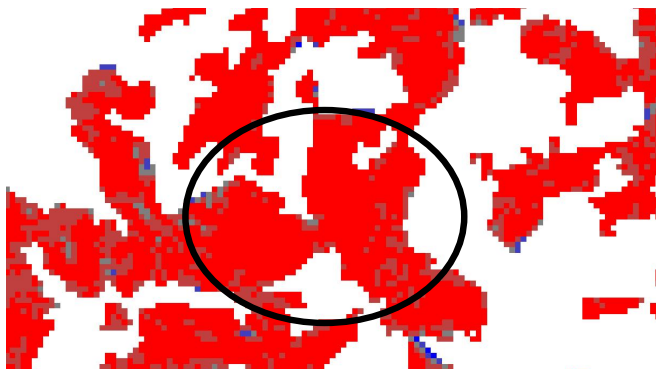


Figura 8 – Confronto tra NDVI sull'area 3.

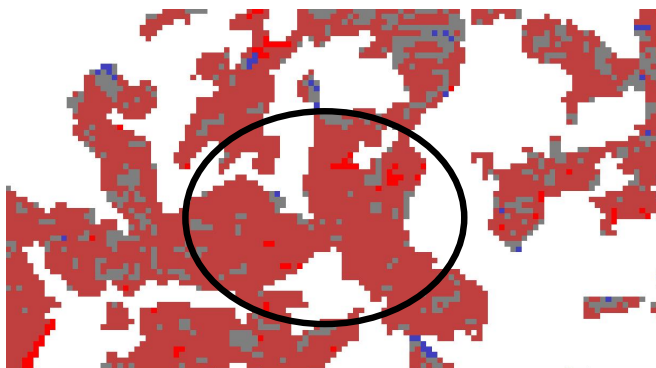


Figura 9 – Confronto tra bande del NIR normalizzate sull'area 3.

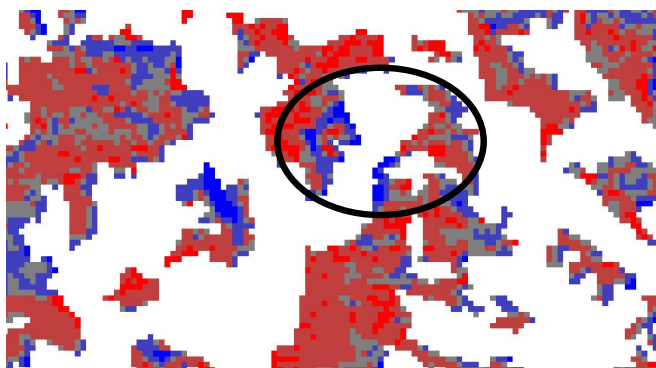


Figura 10 – Confronto tra NDVI sull'area 4.

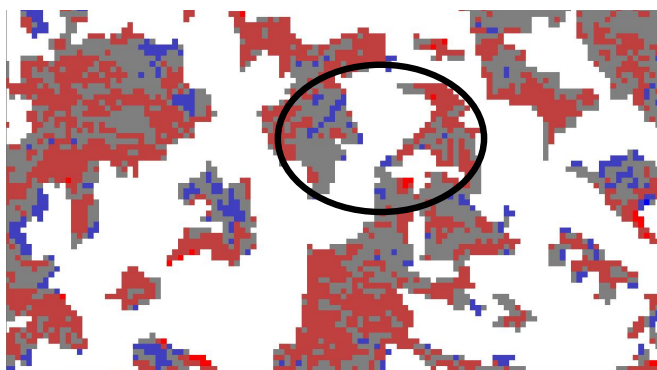


Figura 11 – Confronto tra bande del NIR normalizzate sull'area 4.

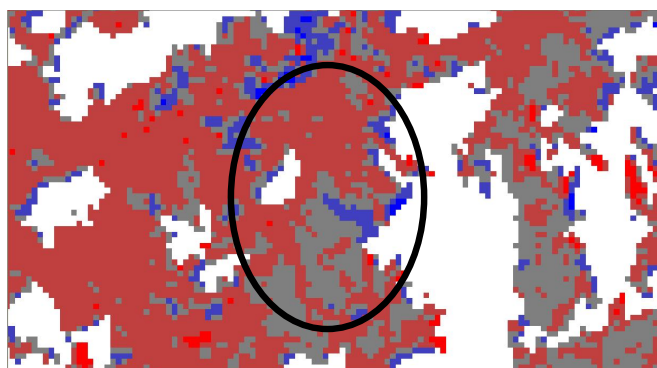


Figure 12 – Confronto tra NDVI sull'area 5.

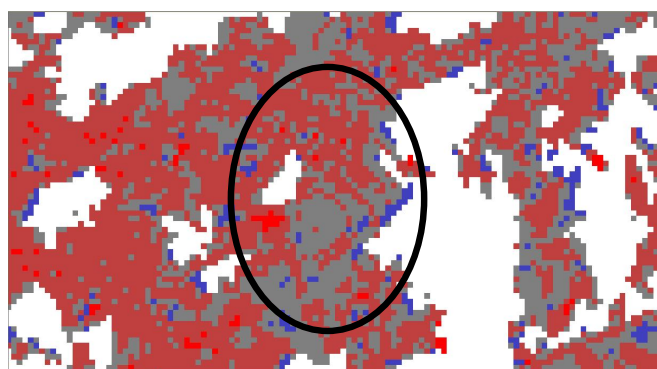


Figura 13 – Confronto tra bande del NIR normalizzate sull'area 5.

Paragonando questi due metodi appare che nelle aree in cui è in atto una rivegetazione di frane e calanchi il confronto tra le bande normalizzate del NIR pare evidenziare solo le aree soggette alle trasformazioni maggiori (area 1), o le consideri come aree di blando aumento (*Change (+1)*), mentre il confronto tra gli NDVI mette in risalto tutte le aree soggette a qualche forma di cambiamento, in particolare quelle che hanno subito le trasformazioni maggiori.

Riguardo ai terreni ex agricoli i risultati ottenuti dai due metodi appaiono molto simili, seppur l'NDVI mostra variazioni maggiori.

Per le aree non soggette a particolari cambiamenti (caso dell'area 5), i due metodi mostrano alcune differenze di classificazione, ma dato attraverso le ortofoto appare arduo determinare quale sia il metodo che descrive più accuratamente il fenomeno.

Conclusioni

Il confronto tra i valori di NDVI si è dimostrato il metodo che ha prodotto i risultati migliori, in grado di individuare anche variazioni minori, sia in aumento che in diminuzione della copertura forestale. Il metodo del confronto tra le bande del vicino infrarosso potrebbe rivelarsi invece utile in altri processi di *change detection*, in quanto un prodotto intermedio del procedimento Ir-MAD è un'immagine denominata χ^2 , che esprime la somiglianza tra pixel della *reference* e della *target image* di tutte le bande. Questa immagine potrebbe essere utilizzata per individuare in modo rapido le aree a maggior variazione e quelle stabili.

Bibliografia

- Canty M.J., Nielsen A.A. (2008), Automatic radiometric normalization of multitemporal satellite imagery with the iteratively re-weighted MAD transformation, *Remote Sensing of Environment*, 112: 1025-1036
- Chander G., Markham B. (2003), Revisited Landsat-5 TM radiometric calibration and postcalibration dynamic ranges, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 4:2674-2677
- Du Y., Teillet P.M., Cihlar J. (2002), Radiometric normalization of multitemporal high-resolution images with quality control for land cover change detection, *Remote Sensing of Environment*, 82: 123-134
- Furby S.L., Campbell N.A. (2001), Calibration images from different dates to 'like-value' digital counts, *Remote Sensing of Environment*, 77: 186-196
- Hall F.G., Strebel D.E., Nickeson J.E., Goetz S.J. (1991), Radiometric rectification: toward a common radiometric response among multirate, multisensory images, *Remote Sensing of Environment*, 35: 11-27
- Law B.E., Waring R.H. (1994), Combining remote sensing and climatic data to estimate net primary production across Oregon, *Ecological Applications*, 4: 717-728
- Moran M.S., Jackson R.D., Slater P.N., Teillet P.M. (1992), Evaluation of simplified procedures for retrieval of land surface reflectance factors from satellite sensor output, *Remote Sensing of Environment*, 41: 160-184
- Piussi P. (1994), *Selvicoltura generale*, UTET, Torino, 60-62
- Regione Emilia-Romagna, 2008 (http://archiviocartografico.regione.emilia-romagna.it/bookshopfe/consulta?id_sessione=)
- Rouse J.W., Haas R.H., Schell J.A., Deering D.W. (1973), Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS, *Third ERTS symposium, NASA SP-353*, 1: 309-317
- Schott J.R., Salvaggio C., Volchok W.J. (1988), Radiometric scene normalization using pseudoinvariant features, *Remote sensing of Environment*, 23: 1-16
- Viña A., Gitelson A. (2005), New developments in the remote estimation of the fraction of absorbed photosynthetically active radiation in crops, *Geophysical Research Letters*, 32: L. 17403

Ringraziamenti

Per l'esecuzione dello studio si ringrazia il prof. Federico Magnani (Dipartimento di colture arboree, Università di Bologna) e il dr. Andrea Spisni (Servizio Idro-Meteo-Clima, ARPA Emilia-Romagna) per l'assistenza scientifica, metodologica e la disponibilità di immagini telerilevate.

Biomassa forestale e piattaforme logistico-commerciali: valutazione delle potenzialità innovative del settore legno-energia in Trentino

Sandro Sacchelli

Consiglio per la Ricerca e la sperimentazione in Agricoltura, Unità per il Monitoraggio e la Pianificazione
Forestale (CRA-MPF), P.za Nicolini 6, 38123 Villazzano (TN)
Tel. +39 0461-381142, e-mail: sandro.sacchelli@entecra.it

Riassunto

Il presente lavoro ha lo scopo di definire una metodologia per la stima delle potenzialità produttive della filiera legno-energia in provincia di Trento. Nello specifico da un lato sono stati quantificati i residui delle utilizzazioni forestali potenzialmente ritraibili, dall'altro è stata valutata la possibilità di inserimento di piattaforme logistico-commerciali atte allo stoccaggio, essiccazione, trattamento e vendita di biocombustibili legnosi a scala locale. L'utilizzo combinato di logica *fuzzy* ed Analisi Multicriteriale Geografica ha permesso di definire una prima localizzazione di massima delle piattaforme, considerando sia la distanza dall'offerta e dalla domanda di biomassa, sia la presenza di aree idonee alla realizzazione delle stesse. L'implementazione del modello di analisi spaziale *FORENERGIS* ha permesso inoltre, attraverso lo studio di diverse tipologie di filiera e peculiarità territoriali, logistiche ed economiche, di valutare le superfici boscate produttive, il quantitativo annuo di biomassa ottenibile e l'economicità dei processi di utilizzazione forestale. L'analisi dei risultati ha consentito, infine, di discriminare le aree maggiormente vocate all'inserimento di piattaforme logistico-commerciali. La flessibilità riscontrata nel modello ed i buoni risultati emersi in fase di validazione, sembrano renderlo potenzialmente idoneo per l'applicazione dell'analisi ad altre realtà nazionali.

Abstract

This work aims to define a methodology able to highlight the potential characteristics of woody bioenergy chain in the province of Trento. Specifically, total amount of forest utilisation residues were estimated. In addition, the suitability of Biomass Logistics and Trade Centers (BLTC) to storage, dehydrate, processing and selling of biofuel was evaluated. The combination of fuzzy logic and Geographic Multicriteria Evaluation permits to define a preliminary localization of BLTC according to biomass supply/demand distance and the presence of appropriate area for construction. The implementation of geomorphological, logistical and economic variables in a GIS-based model (called FORENERGIS) allows to calculate productive forest surfaces, total amount of biomass and economic feasibility of silvicultural interventions. Results analysis depicts the more suitable areas for the introduction of BLTC. Finally, the flexibility of the model and good validation results seem to make FORENERGIS able to be applied in other national context.

1. Introduzione

Negli ultimi anni l'utilizzo e la valorizzazione di nuove forme di produzione energetica basate su fonti rinnovabili ha assunto notevole interesse per gli obiettivi fissati in materia di riduzione delle emissioni climateranti e di sviluppo sostenibile, dal livello internazionale a quello locale. Il settore delle biomasse legnose di origine agro-forestale rappresenta in Italia uno dei maggiori campi di possibile implementazione di filiere bioenergetiche; oltre che un'oculata valutazione delle risorse

utilizzabili in modo sostenibile dal punto di vista ecologico, deve però essere definita anche la sostenibilità economica della filiera attraverso la valutazione della logistica e dell'organizzazione dei processi produttivi. La nascita di piattaforme logistico-commerciali utili per lo stoccaggio, essiccazione e vendita di biomasse legnose sembra, pertanto, rappresentare uno dei possibili punti di innovazione del settore bioenergetico. Francescato et al. (2010) definiscono le piattaforme biomassa quali infrastrutture logistico-commerciali per la valorizzazione dei combustibili legnosi prodotti dalle risorse locali da parte degli operatori agro-forestali. Gli stessi autori individuano alcuni dei principali obiettivi delle piattaforme, tra cui l'implementazione di servizi energetici e di vendita dei biocombustibili legnosi e lo sviluppo di strategie di marketing sui temi della garanzia e della sicurezza dell'approvvigionamento nei confronti dei consumatori locali.

In quest'ottica la presente ricerca ha lo scopo di individuare una metodologia di analisi della filiera legno-energia incentrata sullo studio dell'utilizzazione degli scarti degli interventi selvicolturali (ramaglie e cimali), che valuti la convenienza economica dei processi produttivi ed il quantitativo totale di biomassa disponibile, nell'ipotesi di differenti cantieri produttivi e di introduzione di piattaforme logistico-commerciali nel contesto della Provincia Autonoma di Trento (PAT).

2. Materiali e metodi

2.1 Area di studio

L'area di studio corrisponde alla provincia di Trento, localizzata nelle Alpi orientali. Il territorio è ricoperto da boschi per un 56% della superficie totale (345.706 ha su 620.690 ha), con il 79% di fustaie, in prevalenza di abete rosso, ed il 21% di cedui. La superficie forestale produttiva è pari all'80%, mentre il restante 20% ricade in quella protettiva (Provincia Autonoma di Trento – Servizio Foreste e Fauna, 2009).

L'impiego di biomassa legnosa residuale a scopo energetico è ad oggi, piuttosto sviluppato nel territorio in esame. Considerando le informazioni riportate all'interno di un database dell'Agenzia Provinciale dell'Energia (APE) (Provincia Autonoma di Trento – Agenzia Provinciale dell'Energia, 2010) è stata stimata una domanda annua totale di energia da biocombustibili solidi in impianti di teleriscaldamento di potenza medio-grande (superiore a 500 kW), pari a circa 420.000 MWh (in impianti attuali e/o in corso di progettazione/ampliamento). Ad oggi il fabbisogno energetico viene principalmente soddisfatto dall'offerta di residui provenienti dalle industrie di prima trasformazione del legno (85% circa). Gli scarti delle utilizzazioni forestali sono impiegati negli impianti a biomassa in maniera minore; questo è dovuto alla difficoltà di sfruttamento della ramaglia e dei cimali a causa delle condizioni geomorfologiche prevalenti nel territorio Trentino, che possono rendere anti-economico un intervento in tale direzione. L'utilizzo di questa tipologia di biocombustibili deve prevedere pertanto l'impiego di cantieri altamente meccanizzati che riescano a superare le suddette difficoltà tecnico-logistiche (Spinelli, Magagnotti, 2007; Spinelli, Secknus, 2005). La stima di un futuro accrescimento nella domanda di legno cippato da parte degli impianti di teleriscaldamento ed il potenziale conflitto nei flussi di residui da segheria, che può derivare tra il settore energetico ed altri impieghi (come la produzione di pannelli) (Sacchelli et al., 2011) porta alla necessità di approfondire la valutazione della possibilità di sfruttamento del cippato di origine forestale.

2.2 Scenari di analisi e predisposizione del Sistema Informativo Territoriale (SIT)

Il lavoro è stato incentrato sulla predisposizione di un modello di analisi spaziale su base GIS (*Geographic Information System*) sviluppato su *software* Idrisi Andes 15.00, capace di valutare le seguenti caratteristiche relative alle utilizzazioni forestali ed allo sfruttamento della ramaglia residuale a scopo energetico, limitatamente alle fustaie produttive: i) tipologia del cantiere forestale in base alle condizioni di pendenza, accidentalità e distanza dalla viabilità forestale e principale; ii) distanza dal punto di esbosco all'impianto a cippato più vicino od alla piattaforma logistico-commerciale più vicina e distanza dalla piattaforma all'impianto a biomassa, in funzione dello scenario previsto; iii) costi di produzione degli assortimenti tradizionali e del cippato, comprensivi

delle fasi di abbattimento, allestimento, esbosco, trasporto e delle spese generali; iv) calcolo degli introiti derivanti dalla vendita del materiale legnoso e v) valutazione delle superfici a macchiatico positivo, ovvero di quelle in cui la differenza tra ricavi e costi di produzione è maggiore di zero, con relativa stima dell'offerta potenziale di biocombustibili e dell'utile economico totale del processo di utilizzazione. Il modello (FORENERGIS) è stato suddiviso in *sub-models* al fine di rendere le operazioni di elaborazione più flessibili ed i tempi computazionali più brevi. Sono stati analizzati differenti scenari produttivi caratterizzati dalle seguenti scelte operative:

- Organizzazione della filiera legno-energia: le due ipotesi inserite nel modello prevedono la possibilità di cippatura del materiale forestale di scarto all'imposto con il trasporto del cippato direttamente all'impianto di teleriscaldamento oppure il trasporto della ramaglia dall'imposto alla piattaforma biomasse, con seguente essiccazione del biocombustibile, cippatura e trasporto all'impianto. La principale differenza tra le due alternative (oltre che i differenti costi di trasporto e gestione dei residui) consiste nel diverso grado di contenuto idrico del biocombustibile venduto all'utenza finale (50% nel primo caso e 30% nel secondo) e quindi nel diverso contenuto energetico.

- Grado di prelievo di biomassa legnosa residuale: in base a dati di bibliografia (Spinelli, Magagnotti, 2007) è possibile infatti ipotizzare che per ogni metro cubo di ripresa finale (corrispondente al volume di legname che può essere utilizzato per ogni particella forestale a fine turno) possano essere prelevate dalle 0,1 alle 0,6 tonnellate di sostanza fresca di residuo in base alla tipologia di taglio effettuata; nel nostro caso sono stati identificati tre valori pari a 0,1, 0,35 e 0,6 tonnellate.

- Modalità di vendita del residuo: è stata prevista la possibilità di vendita diretta di cippato da parte della ditta di utilizzazione forestale all'utente finale o la vendita dell'energia tramite operazioni di *Energy Contracting* (Cesano, Guidi, 2006). In quest'ultimo caso l'analisi prevede il costo aggiuntivo della realizzazione e gestione dell'impianto a biomassa e non solo la fornitura di materiale legnoso per l'alimentazione dello stesso.

- Variazione dei prezzi di vendita del cippato (o dell'energia) in un *range* di valori stabilito in base ad indagini di mercato e possibili variazioni future.

L'analisi è stata condotta a partire da cartografie *raster* con risoluzione 40 x 40m. I risultati possono essere quindi rappresentati a diversi livelli in considerazione dell'unità amministrativa scelta (comune, comunità di valle, distretto forestale o provincia).

L'implementazione del modello ha previsto come prima fase del lavoro la predisposizione di un Sistema Informativo Territoriale (SIT), comprendente i seguenti tematismi (tabella 1):

<i>Strato informativo</i>	<i>Tipologia del dato</i>	<i>Fonte</i>	<i>Caratteristiche</i>
Confini amministrativi	Vettoriale	ISTAT (2011); Servizio Foresta e Fauna della Provincia Autonoma di Trento	Strato informativo poligonale dei confini amministrativi della provincia di Trento, comprendente Comuni, Comunità di Valle e Distretti forestali.
Modello Digitale del Terreno (<i>Digital Terrain Model – DTM</i>)	Raster	Servizio Urbanistica e Tutela del Paesaggio della Provincia Autonoma di Trento	Modello Digitale del Terreno con risoluzione di 10x10m, ridotta a 40x40m al fine di velocizzare la fase di elaborazione.
Viabilità	Vettoriale	Servizio Foreste e Fauna della Provincia Autonoma di Trento	Strato informativo riportante la viabilità principale e forestale.
Piani Economico Forestali (PEFO)	Vettoriale	Servizio Foreste e Fauna della Provincia Autonoma di Trento	Strato informativo poligonale contenente le informazioni dei Piani di Assestamento Forestale trentini. Le variabili utilizzate sono: accidentalità, ripresa a fine turno (mc/ha), ripartizione percentuale per specie arborea e diametro medio delle piante.

Localizzazione degli impianti di teleriscaldamento a biomassa	Vettoriale	Agenzia Provinciale per l'Energia (APE)	Strato informativo puntuale relativo alla localizzazione degli impianti di teleriscaldamento a cippato di potenza maggiore a 500kW.
Barriere naturali alle operazioni di esbosco e trasporto: crinali e burroni, laghi e fiumi	Raster e vettoriale	DTM da Servizio Urbanistica e Tutela del Paesaggio; Sistema Informativo Ambientale e Territoriale (SIAT) della Provincia Autonoma di Trento	I crinali ed i burroni sono stati definiti in base ad una classificazione di <i>Topographic Position Index</i> sviluppata a partire dal DTM GRID 40m su software ArcView 3.2.
Aree industriali	Vettoriali	Uso del suolo da Cartografia Tecnica Provinciale (CTP) da Servizio Urbanistica e Tutela del Paesaggio	Aree produttive industriali e artigianali

Tabella 1 – Sistema Informativo Territoriale (SIT).

2.3 Caratteristiche del modello FORENERGIS

2.3.1 Localizzazione delle piattaforme biomassa

L'ipotesi di introduzione di piattaforme logistico-commerciali ha portato alla necessità di definire una prima localizzazione di massima delle stesse. La metodologia di analisi ha combinato la tecnica dell'Analisi Multicriteriale Geografica (AMCG) (Jiang, Eastman, 2000) e della logica *fuzzy* (Zimmermann, 1987). In particolare, in base alle caratteristiche territoriali ed alle dimensioni provinciali, è stata valutata la realizzazione di una piattaforma per distretto forestale. La scelta della localizzazione ottimale ha previsto la combinazione della distanza dalle risorse forestali, ovvero dal punto baricentrico rispetto a tutte le particelle di fustaia produttiva dei Piani di Assestamento Forestale della PAT con ripresa maggiore di zero (offerta), dal punto baricentrico rispetto agli impianti di teleriscaldamento alimentati a cippato (domanda) e la presenza di aree industriali/artigianali. Le distanze dall'offerta e dalla domanda sono state normalizzate in un *range* 0-1 con una operazione di logica *fuzzy* sul valore massimo riscontrabile sull'intero territorio provinciale. Il grado di idoneità all'installazione di piattaforme biomassa è stato quindi calcolato per ogni *pixel* dell'area provinciale come media (non pesata) dei due valori precedenti come da formula 1.

$$I_{i,f} = \frac{o_{i,f} + d_{i,f}}{2} \quad [1]$$

con:

$I_{i,f}$: idoneità all'installazione di piattaforme logistico-commerciali per il *pixel* i -esimo nel distretto forestale f ; $o_{i,f}$: distanza normalizzata dall'offerta di biocombustibili del *pixel* i -esimo nel distretto forestale f ; $d_{i,f}$: distanza normalizzata dalla domanda di biocombustibili del *pixel* i -esimo nel distretto forestale f .

Infine, per ogni distretto forestale, è stato scelto come sito di potenziale realizzazione, l'area industriale che presentava un'estensione maggiore a 8000 m² (Francescato et al., 2010) ed il più alto grado di vocazione in termini di distanza da offerta e domanda di cippato.

2.3.2 Sub-model "Tipologia di cantiere forestale"

La scelta della tipologia di cantiere forestale da applicare nelle varie particelle forestali, ha tenuto in considerazione le caratteristiche geomorfologiche e la distanza dalla viabilità delle aree boscate (Lora, 2009). In particolare le variabili introdotte nel modello sono la pendenza, l'accidentalità e la distanza dalle strade principali e forestali; in funzione dei suddetti fattori la logistica delle fasi di abbattimento, allestimento ed esbosco del materiale legnoso può essere effettuata attraverso le seguenti metodologie:

- accoppiata *harvester-forwarder* (pendenza: <30%; accidentalità: classi 0-1; distanza dalla viabilità: <800m);
- esbosco con gru a cavo e allestimento all'imposto con processore (pendenza compresa tra il 30% ed il 120%; accidentalità: classi 0-1-2-3; distanza dalla viabilità forestale: <1000m).

2.3.3 Sub-model “Distanze di esbosco e trasporto”

Attraverso una serie di operazioni di *Cost surface* (Eastman, 1989) è stato possibile calcolare la distanza di esbosco del materiale legnoso tra ciascun *pixel* ricadente nelle particelle forestali e la viabilità più prossima (non essendo disponibile lo strato informativo dettagliato degli imposti). Le distanze di trasporto dei residui delle utilizzazioni considerano le tratte punto di esbosco-piattaforma logistica, punto di esbosco-impianto a biomassa e piattaforma-impianto, a seconda dello scenario previsto. Al fine di calcolare le distanze reali, tutte le barriere naturali (vedi tabella 1) sono state “tagliate” in presenza della viabilità principale e forestale (i punti di intersezione corrispondono infatti a ponti, passi, gallerie, ecc.).

2.3.4 Sub-models “Costi di produzione” e “Ricavi e quantificazione delle potenzialità produttive”

La quantificazione della potenzialità produttiva della filiera legno-energia della provincia di Trento, espressa in termini di tonnellate di ramaglia forestale e valore finanziario dei boschi, è stata valutata in funzione delle particelle forestali in cui il macchiatico (ovvero la differenza tra i ricavi ed i costi di utilizzazione) è positivo.

Nello specifico i costi di produzione possono essere ricondotti, a seconda del cantiere e della logistica della filiera, a (figura 1):

- abbattimento con motosega (Spinelli, Magagnotti, 2005; Spinelli et al., 2006);
- allestimento con processore (Grigolato, 2007; Spinelli et al., 2006);
- abbattimento e allestimento con *harvester* (Spinelli, 2010; Cavalli, Zuccoli Bergomi, 2006);
- esbosco con gru a cavo o *forwarder* (Lubello, 2008);
- trasporto dei residui forestali con camion (Spinelli et al., 2007);
- cippatura all'imposto o alla piattaforma biomassa (Negrin, Pettenella, 2010; Spinelli et al., 2007);
- realizzazione della piattaforma logistico-commerciale, con valutazione del costo definita grazie alla metodologia di analisi economica sviluppata per il progetto *Biomass Trade Center* (Loibnegger, Metschina, 2010);
- realizzazione e gestione dell'impianto di teleriscaldamento a cippato (Bernetti, Fagarazzi, 2008).

I costi totali sono stati aumentati del 14% per considerare le spese di direzione, quelle amministrative e gli interessi sul capitale anticipato (Bernetti, Romano, 2007).

Il calcolo dei ricavi è basato da un lato sulla definizione della ripresa a fine turno suddivisa per specie o gruppi di specie forestale (abeti; larice; pini montani; pino cembro; faggio e altre latifoglie) e dall'altro sui prezzi di vendita medi del tondame e delle altre tipologie di assortimento tradizionale. I prezzi medi fanno riferimento ai dati del Progetto Legno della Camera di Commercio Industria Artigianato e Agricoltura (CCIAA) della provincia di Trento (CCIAA, 2011), che considerano la tipologia di assortimento, i quantitativi totali ed il valore di vendita all'imposto.

L'introduzione di valutazioni di tipo qualitativo della biomassa forestale ha portato ad una caratterizzazione del prezzo di vendita in funzione del contenuto energetico. Nel caso di vendita del cippato da parte della ditta boschiva direttamente al gestore dell'impianto a biomassa, il prezzo attualmente si aggira intorno ai 13-15 €/mst, corrispondenti a circa 17-19 €/MWh (per i fattori di conversione da unità di peso e volume ad energia, in funzione del contenuto idrico del biocombustibile, cfr. Francescato et al., 2009; Spinelli, Magagnotti, 2005; Spinelli et al., 2007). I prezzi di mercato relativi alla vendita diretta di energia oscillano invece tra i 70 ed i 90 €/MWh. Per

inserire possibili variazioni di mercato (al rialzo ed al ribasso per vendita di cippato o energia) è stato dunque considerato un *range* di valori tra i 10 ed i 110 €/MWh.

Infine, è stata ipotizzata la vendita di legna da ardere all'interno delle piattaforme logistico-commerciali, oltre che di biomassa residua; l'ammontare del quantitativo di legna processato all'interno delle piattaforme è stato calcolato come pari al 50% del consumo totale in ciascun distretto forestale (Ragazzi, Baggio, 2007), al netto del materiale proveniente dall'uso civico (Provincia Autonoma di Trento – Servizio Foreste e Fauna, 2010).

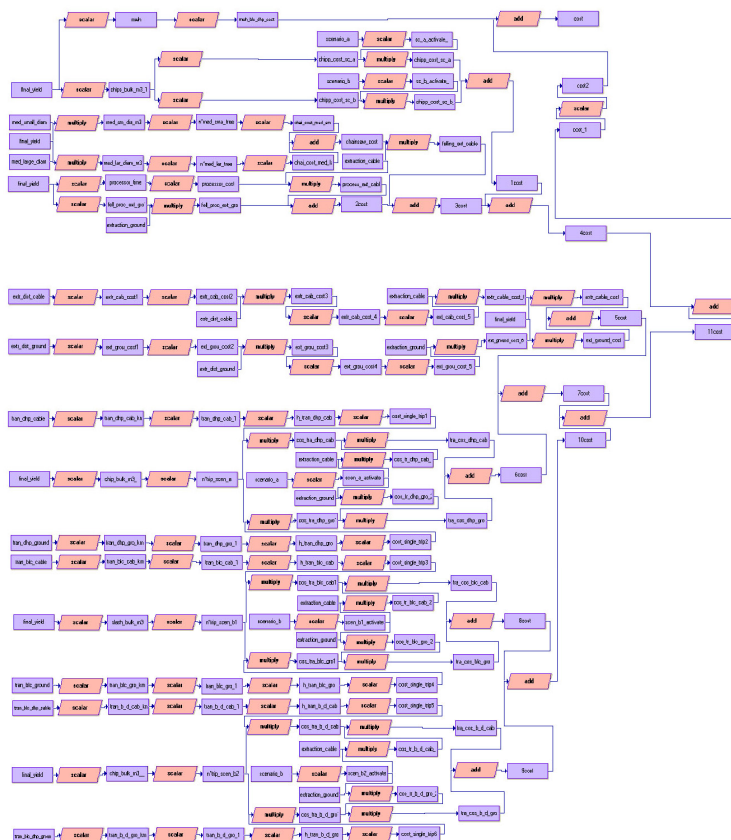


Figura 1 – Schematizzazione del sub-model “Costi di produzione”.

3. Risultati e validazione del modello

I principali risultati emersi dal modello FORENERGIS sono riportati nelle figure da 2 a 5, che rappresentano le tonnellate annue di sostanza fresca (contenuto idrico: 50%) di ramaglia e cimali ritraibili dai boschi trentini e l'utile annuo (differenza tra ricavi e costi) derivante dalle operazioni selvicolturali di utilizzazione dei soprassuoli forestali. Le figure 2 e 3 fanno riferimento allo scenario in cui i residui legnosi vengono cippati all'imposto e trasportati direttamente all'impianto a biomassa (scenario “a”); le figure 4 e 5 rappresentano invece il caso in cui viene realizzata la piattaforma logistica nella quale il biocombustibile viene stoccato ed essiccato prima di essere trasferito all'impianto a cippato (scenario “b”). Ricordiamo inoltre come il prezzo della biomassa rappresenti la vendita di cippato nel *range* 10-40 €/MWh e quella di energia nel *range* 50-110 €/MWh. Infine, per ogni suddetta casistica sono riportati i risultati relativi al prelievo di tre diversi quantitativi di residuo per ogni metro cubo di ripresa finale (0,1, 0,35 e 0,6 t/mc).

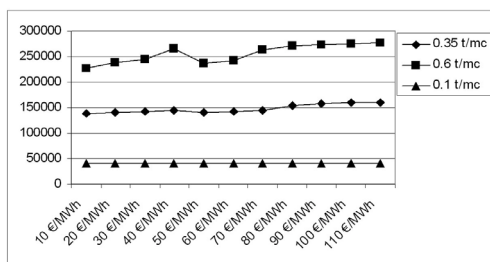


Figura 2 – Biomassa totale ritraibile (t s.f./anno) in funzione del quantitativo asportato per metro cubo di ripresa e del prezzo di vendita del biocombustibile. Scenario “a”.

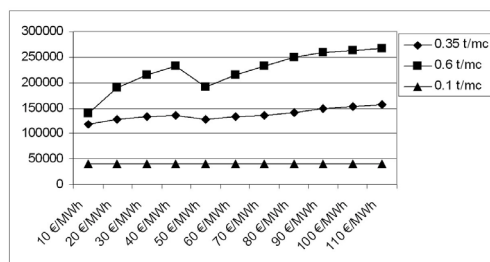


Figura 3 – Biomassa totale ritraibile (t s.f./anno) in funzione del quantitativo asportato per metro cubo di ripresa e del prezzo di vendita del biocombustibile. Scenario “b”.

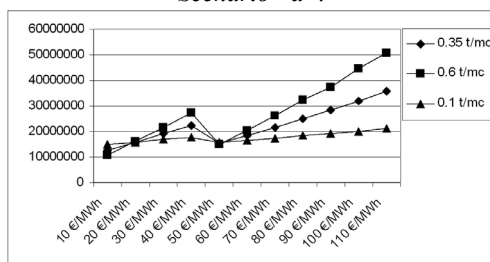


Figura 4 – Utile totale della filiera forestale (€/anno) in funzione del quantitativo di biomassa asportato per metro cubo di ripresa e del prezzo di vendita del biocombustibile. Scenario “a”.

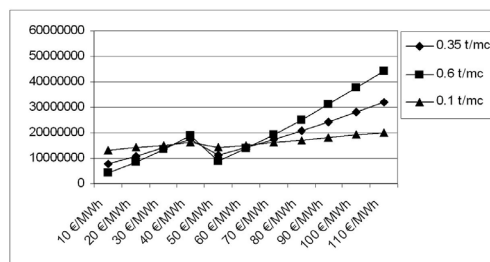


Figura 5 – Utile totale della filiera forestale (€/anno) in funzione del quantitativo di biomassa asportato per metro cubo di ripresa e del prezzo di vendita del biocombustibile. Scenario “b”.

Nello scenario “a” possiamo notare come, con un prezzo del biocombustibile che oscilla tra i 10 e i 110 €/MWh, l'ammontare annuo di biomassa residua disponibile possa variare da un minimo di circa 41.000 t/anno nel caso di asportazione di 0,1 t/mc di ripresa, ad un massimo di circa 276.000 t/anno con prelievo di 0,6 t/mc (figura 2). Nello scenario “b” il range si attesta tra le 40.000 e le 267.000 t/anno (figura 3). Considerando invece l'economicità delle operazioni selvicolturali, l'utile totale a livello provinciale oscilla tra gli 11 ed i 50 M€/anno nello scenario “a” (figura 4) e tra i 4 ed i 44 M€/anno nello scenario “b” (figura 5). Nello scenario “a” a partire da un prezzo del cippato pari a 20 €/MWh conviene aumentare l'asportazione di ramaglia (portandola a 0,6 t/mc), mentre nel caso di vendita di energia, tale soglia è già raggiunta con i 50 €/MWh. Nello scenario “b” i suddetti prezzi devono invece salire rispettivamente a 40 e 60 €/MWh.

Da questi primi risultati emerge che, se l'organizzazione della filiera legno-energia prevede l'inserimento di piattaforme con esclusiva funzione di stoccaggio ed essiccazione della ramaglia, la convenienza rispetto ad un cantiere in cui si trasporta il cippato dall'imposto direttamente all'impianto a biomassa, è inferiore. Futuri sviluppi del modello potranno prevedere la valutazione del processamento di tondame di scarsa qualità, come ad esempio quello proveniente dai diradamenti, da destinare a biocombustibile (vista la maggiore economicità dello stesso rispetto alla ramaglia nelle fasi di allestimento, trasporto e cippatura).

Infine è stata valutata la possibilità di utilizzare le piattaforme logistiche come punto di vendita diretto di biocombustibili. In particolare si è ipotizzato che il 50% della legna da ardere consumata sull'intero territorio provinciale (Ragazzi, Baggio, 2007) ed al netto dell'offerta derivante dall'uso civico (Provincia Autonoma di Trento – Servizio Foreste e Fauna, 2010), potesse essere venduta

all'interno delle piattaforme, con i costi di approvvigionamento ed i prezzi di vendita come da indagini di mercato.

I risultati, espressi in questo caso a livello di distretto forestale, sono riportati in tabella 2, nell'ipotesi di un quantitativo medio di residui prelevati pari a 0,35 t per metro cubo di ripresa.

	<i>Prezzo del biocombustibile</i>					
<i>Distretto forestale</i>	<i>10 €/MWh</i>	<i>30 €/MWh</i>	<i>50 €/MWh</i>	<i>70 €/MWh</i>	<i>90 €/MWh</i>	<i>110 €/MWh</i>
Cavalese	-9058919	-8605443	-7311425	-6585479	-5971791	-4872051
Primiero	-7146885	-7850426	-6945726	-7290959	-7794252	-7985424
Borgo	-4134365	-4082848	-3405861	-3281028	-3231684	-2935334
Pergine	-5629112	-5654997	-4953349	-4628597	-4413761	-4036425
Trento	867579	758553	1182450	1244274	1307440	1477337
Cles	-6109483	-6189516	-5215470	-5063356	-4974798	-4362126
Male	-2786433	-3158529	-2504755	-2612300	-2553070	-2208596
Tione	-3606054	-3573346	-3136913	-2842758	-2635033	-2237119
Riva	415662	480764	563095	652255	690673	795902
Rovereto	958428	819502	1007465	1079097	1146707	1244368

Tabella 2 – Differenza di utile della filiera forestale tra scenario “b”(con piattaforme logistico-commerciali) e scenario “a” in funzione del prezzo di vendita del biocombustibile, riportata per distretto forestale. I valori in grassetto indicano la convenienza dello scenario “b”, quelli negativi in rosso, dello scenario “a”. Ipotesi di prelievo di biomassa: 0,35 t/mc di ripresa.

Nello scenario “b” la trasformazione da piattaforme logistiche a piattaforme logistico-commerciali, porta ad un maggior grado di convenienza economica che addirittura, come possiamo notare in tabella 2, in alcuni casi (distretti di Trento, Rovereto e Riva) supera quella dello scenario “a”. E' interessante sottolineare come le tre aree di Trento, Rovereto e Riva risultino quelle più densamente popolate e urbanizzate e nelle quali, verosimilmente, l'introduzione di piattaforme biomasse potrebbe avere un maggiore impatto positivo anche dal punto di vista del *marketing* territoriale e della sensibilizzazione dell'opinione pubblica alla tematica delle fonti legnose rinnovabili utilizzate per scopo energetico a scala locale.

L'ultima fase del processo di analisi ha previsto la definizione di una metodologia di validazione del modello. In considerazione della non ancora affermata filiera residuo forestale-energia indirizzata agli impianti di teleriscaldamento a cippato e della presenza invece consolidata di dati relativi alla commercializzazione di legname dei boschi trentini, la verifica dei risultati è stata predisposta come descritto di seguito. Prendendo come riferimento il volume di materiale legnoso tradizionale commercializzato nella provincia di Trento (circa 364.000 mc/anno), è stato effettuato un confronto con l'*output* del modello nel caso in cui la percentuale di biomassa residua estratta sia pari allo 0% (assenza di esbosco e vendita di ramaglia e cimali, con organizzazione tradizionale del cantiere). Calcolando le superfici a macchiatico positivo risultanti ed il corrispondente quantitativo di tonnage derivabile dalle stesse, è emerso un valore di circa 407.000 mc/anno. La differenza positiva di circa il 10% rispetto ai valori attuali può essere dovuta all'ipotesi di ottimizzazione del cantiere produttivo introdotta all'interno del modello e può quindi, coerentemente con la situazione reale, rappresentare un margine di miglioramento (in termini tecnologici ed economici) del comparto delle utilizzazioni forestali trentine.

4. Conclusioni

Il modello su base GIS sviluppato per l'analisi della filiera foresta-legno-energia nella provincia di Trento è risultato flessibile in termini di analisi delle tipologie e delle caratteristiche dei cantieri di utilizzazione e della possibilità di valutazione di variabili economiche (variazione di costi produttivi e prezzi di vendita di assortimenti tradizionali e biomassa ad uso energetico). Gli *output* del modello

hanno permesso di stabilire un *range* di variazione delle superfici a macchiatico positivo, del quantitativo di biomassa estraibile e dell'economicità dei processi forestali in funzione di un'ampia casistica di variabili di *input*. I buoni risultati emersi in fase di validazione sembrano renderlo idoneo all'applicazione a scala provinciale anche in altri contesti territoriali, in presenza di un adeguato database di partenza.

In futuro alcune implementazioni e modifiche possono comunque essere applicate al modello, in particolare: i) la localizzazione delle piattaforme logistico-commerciali è stata prevista in aree industriali/artigianali di adeguate dimensioni. L'estensione di normative già applicate in altri contesti nazionali (Zampieri et al., 2011) può comunque ampliare la possibilità di realizzazione in aree rurali che ottimizzino ulteriormente la logistica (le cosiddette "piazzole attrezzate"). ii) L'inserimento nel modello di vincoli e variabili di natura ambientale (fertilità del terreno, mantenimento di biodiversità, valutazione della componente turistico-ricreativa, ecc.) potrebbe permettere di ampliare la valutazione economica dei processi e la stima di biomassa disponibile anche in considerazione della multifunzionalità forestale. iii) Analisi di maggior dettaglio (scala distrettuale o comunale) possono facilitare la valutazione della quota di residui forestali derivanti da diradamenti e iv) un'implementazione del Sistema Informativo Territoriale con la realizzazione di strati geografici riportanti alcune caratteristiche delle infrastrutture provinciali (localizzazione degli imposti e dimensioni, raggi di curvatura minimi e larghezza della carreggiata della viabilità forestale e principale, ecc.), potrebbero ulteriormente migliorare il dettaglio dell'indagine.

In conclusione il modello FORENERGIS, in particolare attraverso le suddette integrazioni, può rappresentare un utile strumento di supporto alla pianificazione a scala locale della filiera bioenergetica basata sulle risorse forestali.

Ringraziamenti

Questo lavoro è stato realizzato all'interno del progetto BIOMASFOR "Potenzialità, innovazioni tecnologiche ed energetiche per l'uso sostenibile delle biomasse forestali trentine", finanziato dalla Fondazione CARITRO (fondo 101). L'autore ringrazia la Fondazione ed i partner del progetto BIOMASFOR, in particolare la dott.ssa Isabella De Meo ed il dott. Alessandro Paletto, per il loro contributo alla presente ricerca.

Bibliografia

- Bernetti I., Fagarazzi C. (2008), *Valutazione della domanda di biocombustibili solidi (legno cippato) nell'area dell'Appennino Pistoiese*, Rapporto tecnico-scientifico, Centro Editoriale Toscano, Firenze.
- Bernetti I., Romano S. (2007), *Economia delle risorse forestali*, Volume II, Liguori editore, Napoli, 339-356.
- Cavalli R., Zuccoli Bergomi L. (2006), "Funzionalità di un harvester in ambiente alpino italiano", *L'Italia Forestale e Montana*, 3: 181-191.
- CCIAA - Camera di Commercio Industria Artigianato e Agricoltura della provincia di Trento (2011), *Legno Trentino – Economia e mercato*, disponibile su: www.legnotrentino.it, consultato il 2.4.2011.
- Cesano D., Guidi D. (2006), *Opportunità di sviluppo della filiera bosco – legno – energia nel territorio del Mugello*, Ecosoluzioni, Cortona, 45-55.
- Eastman J.R. (1989), "Pushbroom Algorithms for Calculating Distances in Raster Grids", *Atti AUTOCARTO*, 9: 288-297.
- Francescato V., Antonini E., Nocentini G., Faini A., Seppoloni I., Stranieri S. (2010), *Piattaforme biomasse: produzione professionale, sostenibile e locale di legna, cippato e pellet*, Tipografia Il Bandino srl, Firenze, 7.

- Francescato V., Antonini E., Zuccoli Bergomi L., Nocentini G., Faini A. (2009), *Legna e cippato: produzione, requisiti qualitativi, compravendita*, Press service, Sesto F.no (FI).
- Grigolato S. (2007), "Pianificazione degli approvvigionamenti in ambiente alpino", *Atti del 43° Corso Biomasse Forestali ad Uso Energetico in Ambiente Alpino: Potenzialità e Limiti*, San Vito di Cadore, 51-58.
- ISTAT (2011), *Confini amministrativi dei comuni italiani formato shapefile*, disponibile su www.istat.it, consultato il 15/1/2011.
- Jiang H., Eastman J.R. (2000), "Application of fuzzy measures in multiple criteria evaluation in GIS", *International Journal of Geographical Information Sciences*, 14: 173-184.
- Loibnegger T., Metschina C. (2010), *Biomass Logistic & Trade Centres: 3 steps for a successful project realisation*, Litocenter Srl, Piazzola sul Brenta (PD).
- Lora C. (2009), *Valutazione della disponibilità di biomassa forestale a scopo energetico tramite modellazione GIS dei sistemi di raccolta in provincia di Trento*, Tesi di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, Facoltà di Ingegneria, Università degli Studi di Trento.
- Lubello D. (2008), *A rule-based SDSS for integrated forest harvesting planning*, Tesi di dottorato in Tecnologie Meccaniche dei Processi Agricoli e Forestali, Facoltà di Agraria, Università degli Studi di Padova.
- Negrin M., Pettenella D. (2010), "Produttività, convenienza economica e qualità. Indagine sull'approvvigionamento di cippato ad uso energetico", *Sherwood*, 163: 5-11.
- Provincia Autonoma di Trento – Agenzia Provinciale dell'Energia (2010), *Database relativo agli impianti a biomassa provinciali*, documento ad uso interno.
- Provincia Autonoma di Trento – Servizio Foreste e Fauna (2010), *Database relativo alla quantificazione di legna ad uso civico*, documento ad uso interno.
- Provincia Autonoma di Trento – Servizio Foreste e Fauna (2009), *Rapporto sullo stato delle foreste e della fauna*, Litotipografia Alcione, Trento.
- Ragazzi M., Baggio P. (2007), *Studio per l'approfondimento delle tematiche relative alla combustione della legna*, Relazione finale, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università degli Studi di Trento.
- Sacchelli S., De Meo I., Paletto A. (2011), "The analysis of logging residues chain for a sustainable bioenergy production: a case study in Northern Italy". In: *Quendler E., Kossler K. (Eds.) "Efficient and safe production processes in sustainable agriculture and forestry"*, *Atti della XXXIV Conferenza CIOSTA*, Vienna, 508-509.
- Spinelli R. (2010), "Harvester e processori in Italia: quanti, quali, come", *Seminario EIMA Energy*, 10-14 Novembre, Bologna, disponibile su: www.progettobiomasse.it.
- Spinelli R., Nati C., Magagnotti N. (2007), "Recovering logging residue: experiences from the Italian Eastern Alps", *Croatian Journal of Forest Engineering*, 28: 1-9.
- Spinelli R., Magagnotti N. (2007), "La produzione di biomassa legnosa nella selvicoltura alpina: quantità, sistemi di raccolta, costi", *L'Italia Forestale e Montana*, 5/6: 421-435.
- Spinelli R., Magagnotti N. (2005), "Recupero di biomassa residua nel taglio a gruppi in fustaia alpina", *Dendronatura*, 1: 49-59.
- Spinelli R., Magagnotti N., Hartsough B. (2006), "Raccolta integrata di tondame e biomassa nel taglio a gruppi di fustaie alpine", *L'Italia Forestale e Montana*, 4: 303-316.
- Spinelli R., Secknus M. (2005), "Restituire competitività alla biomassa forestale", *Alberi e Territorio*, 12: 45-49.
- Zampieri R., Francescato V., Antonini E., Paniz A. (2011). *Linee guida per la realizzazione di piazzole attrezzate per biomasse nella regione del Veneto*. AIEL, Tipografia Litocenter, Piazzola sul Brenta (PD).
- Zimmermann H.J. (1987), *Fuzzy sets, decision making and expert systems*. Kluwer A.P., Boston.

Il supporto formativo alla Direttiva INSPIRE nell'ambito del progetto BRISEIDE

Giorgio Saio, Emanuele Roccatagliata, Roderic Molina

G.I.S.I.G., Genova

Sommario

Il lavoro proposto presenta un caso concreto di trasferimento di conoscenze ed esperienze già disponibili all'interno del progetto BRISEIDE (BRIdging Services, Information and Data for Europe, <http://www.briseide.eu/>). Sono illustrati i contributi in termini di argomenti riguardanti tecnologie, modalità di accesso e di gestione dei dati geografici, specifici delle applicazioni per la gestione del rischio a scala territoriale, temi sviluppati in BRISEIDE.

Tale esperienza ha consentito di arricchire di nuovi moduli formativi il *Training Framework* VESTA-GIS -struttura per il supporto formativo alla Direttiva INSPIRE- sviluppato dall'Associazione GISIG (<http://www.gisig.it>) e già presentato in occasione della Conferenza nazionale ASITA 2010, all'interno del *workshop* del progetto "HUMBOLDT". (<http://www.esdi-humboldt.eu/>). Inoltre, questo strumento, completo dei moduli formativi "BRISEIDE", verrà reso disponibile per una più ampia comunità di utenti, coinvolti o semplicemente interessati nella creazione dell'Infrastruttura di Dati Territoriale europea, attraverso un'interessante e quanto mai opportuna iniziativa del CEN/TC 287. Uno dei temi considerati dal CEN/TC 287 riguarda proprio l'"istruzione e la formazione". Il Comitato ha predisposto un registro *on line*, grazie al quale è possibile accedere al materiale prodotto dai vari progetti, presentato sotto forma di *best practice*. Da tale *repository* quindi è possibile ricavare informazioni sullo stato dell'arte utili in fase di elaborazione di nuovi progetti; inoltre, questi ultimi potranno successivamente arricchire di contenuti tale archivio condiviso, a beneficio della comunità INSPIRE.

Ed è proprio in questo contesto che GISIG sta sviluppando una linea di attività che integra diverse esperienze di formazione e contenuti al fine di rendere fruibile per la Comunità delle IDT europea il materiale formativo sviluppato e messo a disposizione da vari progetti, sfruttando a questo scopo il Training Framework del progetto VESTA-GIS (<http://www.vesta-gis.eu/>), promosso da GISIG (catalogo dei corsi on-line e strumenti di e-learning). Tale strumento comprende già corsi *on line* prodotti nell'ambito di alcuni progetti europei già conclusi, quali il già citato HUMBOLDT, NESIS (<http://www.nesis.eu/>), ed altri in fase di chiusura, come NATURE-SDIplus (<http://www.nature-sdi.eu/>). Prendendo proprio come riferimento le finalità dell'iniziativa del Comitato CEN/TC 287- verranno resi disponibili per una più ampia comunità di utenti coinvolti o semplicemente interessati nella creazione dell'Infrastruttura di Dati Territoriale europea.

Il Training Framework di BRISEIDE

Briseide è un progetto co-finanziato dall'Unione Europea attraverso il programma ICT-PSP nel settore del Sistema dell'Informazione Geografica (GIS). Obiettivo di BRISEIDE è l'estensione dei modelli di dati geografici sviluppati nell'ambito di altri progetti finanziati e nel contesto della direttiva comunitaria INSPIRE, includendo gli aspetti spazio-temporali che, con poche eccezioni, non sono contemplati dalle linee guida sui dati geografici oggi disponibili, o dalle norme in essere. Il progetto sta sviluppando diverse applicazioni basate sull'integrazione delle banche dati e dei servizi esistenti e di servizi aggiuntivi per la gestione, il processamento, l'analisi e la visualizzazione interattiva spazio-temporale dei dati.

In BRISEIDE le iniziative riguardanti la formazione rivestono una grande importanza in quanto - grazie alla definizione di proposte formative selezionate e mirate per la comunità degli utenti dei servizi di BRISEIDE- esse consentono di accrescere l'impatto e l'efficacia dei risultati del progetto, La promozione e l'erogazione delle iniziative di formazione sono effettuate grazie al *Training Framework* di BRISEIDE, accessibile attraverso il sito web del progetto e strutturato in tre componenti: il pacchetto di lezioni, il materiale didattico e la piattaforma di formazione.

Il pacchetto di lezioni

E' lo strumento che permette all'utente l'accesso a tutte le tematiche e gli aspetti inerenti la formazione in BRISEIDE, ad esempio consente di ricercare e ottenere tutte le informazioni sull'offerta formativa di BRISEIDE.

Il materiale didattico

Il materiale formativo per BRISEIDE è stato strutturato in modo modulare e flessibile, seguendo l'approccio all'apprendimento usualmente adottato in rete: quindi sono presenti componenti in forma di lezioni, esercitazioni e presentazioni multimediali. Il materiale è raccolto su tre livelli di contenuti:

- Conoscenze di base
- Conoscenza tecnica
- Applicazioni.

Ogni livello ha un elenco di corsi (moduli di formazione).

La piattaforma di formazione

Questa piattaforma si basa su *tool* di *e-learning open source* esistenti e costituisce l'infrastruttura di *hosting* dei moduli formativi e di tutto il materiale formativo. Tutti i corsi BRISEIDE sono disponibili anche all'interno del catalogo del *training framework* del progetto VESTA-GIS.

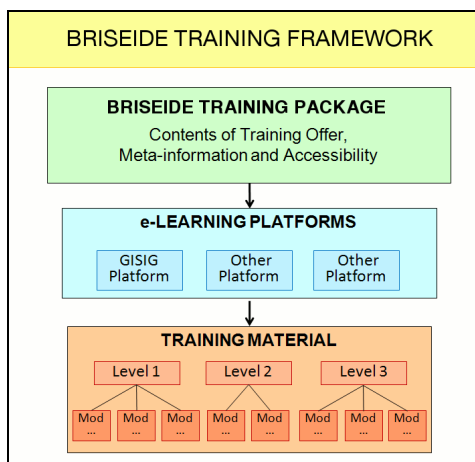


Figura 1 – Schema del Training Framework di BRISEIDE.

Il Training Framework è quindi uno strumento per la diffusione e il trasferimento della conoscenza dei risultati del progetto BRISEIDE attraverso:

- l'accesso gratuito (previa registrazione) al *tool*
- la possibilità di organizzare azioni di formazione *e-learning*:
 - percorsi di formazione personalizzati, ottenuti combinando diversi moduli disponibili

- formazione e iniziative divulgative rivolte agli *stakeholder* coinvolti o da coinvolgere nelle diverse applicazioni pilota del progetto e al target di riferimento esterno (sia utenti che sviluppatori di *software*).

Tutti i componenti del *Framework* sono forniti dai membri del consorzio, sia in termini di contenuti, sia di prodotti *software*. Esso sarà migliorato e aggiornato costantemente durante l'esecuzione del progetto.

Il pacchetto per la Formazione di BRISEIDE

Il *Training Package* viene distribuito attraverso un sito web (www.briseide.eu/joomla/training), che fornisce all'utente tutte le informazioni necessarie circa l'offerta formativa, in forma di descrizioni dettagliate della struttura e dei contenuti dei corsi.

Tramite questo sito gli utenti hanno anche la possibilità di iscriversi ai corsi di loro interesse e di accedere direttamente alla piattaforma di formazione *e-learning*.

Il sito del *Training Package* è facilmente accessibile dal sito web del progetto ed è aperto al pubblico.

BRIDGING SERVICES, INFORMATION AND DATA FOR EUROPE

BRIDSEIDE

Home Project **Training** News Events Partners Liaisons Publications

Search in Training...

Welcome to the BRISEIDE Training Package

Training activities towards the users Communities of the BRISEIDE Framework.

Please note that this section is **under construction**. New courses and their related information will be posted during the project.

The Training Package is developed considering three levels:

- ✓ **Level 1: "Background Knowledge"**
Training related to knowledge useful to operate with BRISEIDE.
Includes courses on INSPIRE, Data Harmonisation, Metadata, Geo-Standards and Web Services.
- ✓ **Level 2: "Technical Knowledge"**
Training related to the creation, scope and use of the BRISEIDE Services.
Includes training on:
 - Risk Management.
 - Multitemporal data and development of accessing and processing spatio-temporal services.
 - Assessment and evaluation of the BRISEIDE Pilots.
 - Use and integration of the BRISEIDE System.
- ✓ **Level 3: "Applications"**
Training related to the BRISEIDE Pilots.
Includes training on operational real-life applications in environmental risk management and civil protection using the BRISEIDE Services.

If you have already [subscribe to the courses](#), you might go directly to the [e-Learning Platform](#)

The BRISEIDE training modules are also available in the [VESTA-GIS](#) Training Framework

Training

- [BRIDSEIDE Training Package](#)
- [Level 1 "Background Knowledge"](#)
- [Level 2 "Technical Knowledge"](#)
- [Level 3 "Applications"](#)
- [Subscribe to the courses](#)
- [E-learning platform](#)
- [Training Contact](#)

Figura 2 – Il sito del Training Package di BRISEIDE.

La struttura del Training Package

L'home page del *Training Package* offre una descrizione dei contenuti, strutturati su tre livelli.

Livello 1

Il primo livello include materiale formativo inerente le conoscenze di base utili per operare all'interno del contesto BRISEIDE. Inoltre, i corsi disponibili per questo livello riguardano l'armonizzazione dei dati, i metadati, i *web Services* e la direttiva INSPIRE.

Livello 2

Questo secondo livello comprende contenuti formativi riguardanti il processo di realizzazione dei Servizi BRISEIDE, le loro finalità e il loro impiego.

Livello 3

Il terzo livello, infine, è specificamente rivolto a utenti e organizzazioni coinvolte nelle applicazioni pilota (*Pilot*) di BRISEIDE, così come a tutte le persone interessate a utilizzare i Servizi BRISEIDE. In particolare, la fruizione dei moduli riguardanti i *Pilot* possono essere di grande aiuto per dimostrare le funzionalità dei servizi sviluppati in situazioni reali e i vantaggi derivanti dal loro impiego.

Le pagine *web* presentano l'elenco dei moduli disponibili per ogni livello; quindi, per ogni modulo vengono forniti i metadati che descrivono contenuti, struttura, destinatari a cui il corso è rivolto, lingua impiegata e tipo di competenza che l'utente avrà acquisito al termine del percorso formativo. L'*home page* consente agli utenti di richiedere anche la sottoscrizione dei moduli selezionati. Ogni richiesta viene elaborata da un amministratore che crea e gestisce un accesso personalizzato ai moduli disponibili sulla piattaforma *e-learning*.

Il materiale di formazione Briseide

Il *Training Framework* di BRISEIDE comprende 18 moduli, distribuiti nei tre livelli in cui il pacchetto di lezioni è strutturato. Essi possono essere selezionati e organizzati per comporre il percorso di apprendimento più appropriato per le esigenze dei partecipanti.

Il materiale didattico si basa su lezioni scritte, tutorial, guide *software*, presentazioni e video con audio, tutti integrati all'interno della piattaforma *e-learning*.

La produzione di questo materiale didattico comprende una serie di fasi, che coinvolgono tutti i partner del progetto. Questo processo è impostato attraverso un'accurata selezione dei temi e la definizione del materiale utile per la comunità degli utenti di BRISEIDE. In questa fase, una particolare attenzione viene dedicata nel ritagliare e personalizzare il materiale didattico in funzione delle esigenze e delle competenze delle diverse professionalità/competenze coinvolte nel progetto. Tale materiale è quindi implementato e validato rispetto alle funzionalità del *tool* di *e-learning*. Effettuata infine la revisione finale per controllare gli standard di qualità del materiale didattico, i corsi vengono rilasciati per l'erogazione *on line* o per essere utilizzati nell'ambito di iniziative di formazione in aula. Infatti, i servizi formativi possono essere erogati in forma di corsi, seminari come pure *workshop*: lo stesso contenuto è quindi fruibile in diversi contesti e per differenti categorie di utenti.

La maggior parte dei documenti e delle relazioni di BRISEIDE sono rivolti a specialisti, indipendentemente dal fatto che facciano parte degli staff tecnici del progetto o meno. Tuttavia, è importante dotarsi di materiale in grado di cogliere anche l'interesse di un pubblico più vasto; ciò al fine di coinvolgere maggiormente gli utenti ai diversi livelli, consentendo loro di valorizzare i risultati del progetto, condividerne l'approccio e i criteri adottati.

Il materiale didattico è strutturato come segue:

- la più piccola unità del materiale e dei servizi didattici è definita come componente di apprendimento. Una componente è suddivisa in capitoli e tutti i capitoli formano un "percorso formativo" della componente di apprendimento
- un modulo è un insieme di prodotti e servizi formativi: esso è suddiviso in uno o più componenti di apprendimento. L'autore del modulo garantisce che le componenti di apprendimento siano congruenti tra loro
- i corsi (ma anche i *workshop* o altre azioni formative, in funzione della modalità di erogazione dei contenuti) sono le unità del servizio di formazione che vengono consegnate agli utenti.

Proprio l'utilizzo dei concetti di componente e modulo, consente all'erogatore del corso di selezionare le componenti appropriate per adattare un corso alle specifiche esigenze formative degli utenti.

Nel seguito viene fornita una sintetica descrizione dei moduli formativi.

Livello formativo 1: "Conoscenze di base"

Comprende i moduli formativi relativi alle conoscenze utili per operare nell'ambito di BRISEIDE.

Metadati

Questo modulo affronta i concetti di base riguardanti i metadati e come si applicano all'Informazione Geografica. Particolare attenzione viene posta agli standard per i metadati e alla regole d'implementazione INSPIRE dei metadati.

Strumenti per la creazione e la modifica dei metadati

Tratta le soluzioni per validare e creare documenti di metadati, in conformità con le prescrizioni INSPIRE al riguardo.

L'armonizzazione dei dati

I concetti di base così come l'uso la pratica di armonizzazione dei dati geografici.

Standard

Questo modulo si concentra sui diversi standard che supportano la direttiva INSPIRE.

WebServices

Questo modulo affronta i concetti di base della tecnologia *web service* e come essa viene applicata nelle specifiche OGC. Particolare attenzione viene data ai servizi WMS, WFS e WPS.

La Direttiva INSPIRE

Lo scopo di questo modulo è quello di introdurre la direttiva INSPIRE, il processo per la sua implementazione e il suo impatto.

Livello Formativo 2: "Conoscenza tecnica"

Comprende i moduli formativi connessi con l'attività di creazione e utilizzo dei Servizi BRISEIDE.

Gestione del rischio

Introduzione ai metodi, ai principi e ai processi del *Risk Management*.

Gestione della componente multitemporale dei dati e lo sviluppo di servizi spazio-temporali

Riguarda la descrizione del modello sviluppato da BRISEIDE per gestire dati e servizi, nonché l'architettura del sistema.

Valutazione del sistema BRISEIDE

Formazione su come il sistema BRISEIDE è testato e valutato attraverso l'integrazione delle applicazioni a situazioni reali. Esso include informazioni sui servizi relativi alla metodologia di test, materiale multimediale per supportare le attività di test e i principali risultati del sistema di valutazione BRISEIDE.

Uso e l'integrazione del sistema BRISEIDE

Formazione su come utilizzare l'infrastruttura BRISEIDE: Il Geoportale, il *client* 3D, la SDI BRISEIDE e le funzionalità dei servizi sviluppati.

Formazione di livello 3: 'Applicazioni'

Formazione riguardante le applicazioni pilota di BRISEIDE, inclusa la formazione applicata a casi operativi reali nella gestione del rischio ambientale e di protezione civile con i Servizi BRISEIDE.

Uno degli obiettivi principali di BRISEIDE è infatti quello di apportare il valore aggiunto della gestione della componente spazio-temporale dei servizi realizzati, sulla base delle esigenze concrete e pratiche degli utenti. Di seguito viene fornito un elenco di moduli di formazione per scenari operativi reali che hanno implementato i Servizi BRISEIDE.

Rischio frana

Riguarda l'applicazione Pilota sulla valutazione del rischio frana.

Rischio terremoto

E' riferito alla valutazione degli effetti geologici causati da terremoti su reti di trasporto e strutture critiche.

Gestione delle emergenze

Riguarda il coordinamento delle attività di risposta alle emergenze e criticità che si verificano in Navarra (Spagna).

Monitoraggio del dissesto idrogeologico

Riguarda i piani di emergenza coordinati dall'Unità Prevenzione dei Rischi della Provincia di Trento.

Gestione dell'emergenza per eventi alluvionali

E' riferito alle azioni intraprese per migliorare le capacità del "FloodPortal Liberec" (Repubblica Ceca).

Gestione forestale sostenibile

Riguarda la formalizzazione di un sistema esperto per la gestione forestale secondo principi sostenibili in termini di sviluppo territoriale.

Qualità ambientale

Riguarda la crescita urbana e il suo impatto sulla qualità ambientale al fine di supportare sia un uso del territorio più efficace, sia la pianificazione territoriale.

Gestione degli incendi boschivi

Riguarda la gestione del processo decisionale tra gli operatori della protezione civile, la pubblica amministrazione e gli esperti d'incendi boschivi durante le fasi della gestione di quattro incendi boschivi.

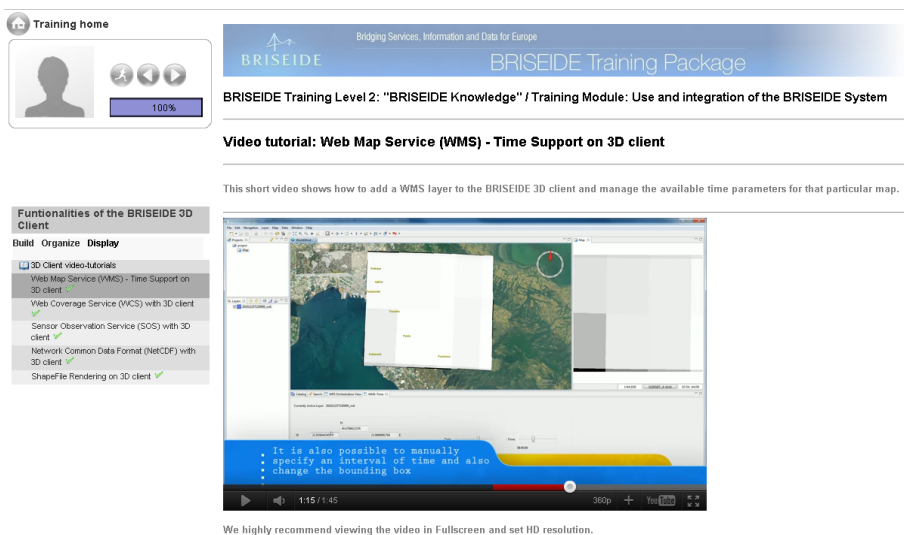


Figura 3 – Il Modulo del Livello 2 “Use and integration of the BRISIEDE System” con video tutorial sull’uso del client 3D BRISIEDE.

La piattaforma BRISIEDE per la Formazione

La piattaforma *e-learning* di BRISIEDE è dedicata agli sviluppatori di materiale di formazione, ai formatori esperti (ad esempio un partner che voglia trasferire e valorizzare i concetti BRISIEDE e i risultati nei confronti di potenziali utenti), così come ai "tirocinanti" (per esempio tecnici e operatori di organizzazioni utenti dei servizi BRISIEDE).

I corsi BRISIEDE sono disponibili all'interno del *Training Framework* dedicato a INSPIRE e alle iniziative Europee sull'Informazione Geografica connesse alla direttiva. Tale infrastruttura *software* è stata sviluppata nel contesto del progetto VESTA-GIS (finanziato nell'ambito del Programma

“Leonardo da Vinci”), per raccogliere corsi *e-learning* prodotti all’interno di diversi progetti europei. Come illustrato nel paragrafo precedente, tutto il materiale è accessibile, previa iscrizione del richiedente ai corsi d’interesse presenti sul sito del *Training Package*. L'utilizzo dello strumento è gratuita, ma è richiesta l’iscrizione per tenere traccia degli accessi e per garantire un collegamento con gli utenti.

Una volta sottoscritto il modulo (o i moduli), l'amministratore invia all'utente l'accesso personalizzato alle diverse piattaforme che ospitano i corsi.

Il materiale didattico disponibile nella piattaforma *e-learning* è stato sviluppato su una varietà di formati adeguati alla natura delle lezioni: presentazioni con voce, *screencast*, testi relativi a conferenze, esercizi, ecc.. La piattaforma *e-learning* permette di monitorare i progressi degli utenti in ogni momento.

Il progetto utilizza una piattaforma *e-learning*, basata sul *software open source* Dokeos, e un *Learning Management System* (LMS). Il disegno generale della piattaforma può essere descritto riferendosi al suo *front-end* e al suo *back-end*.

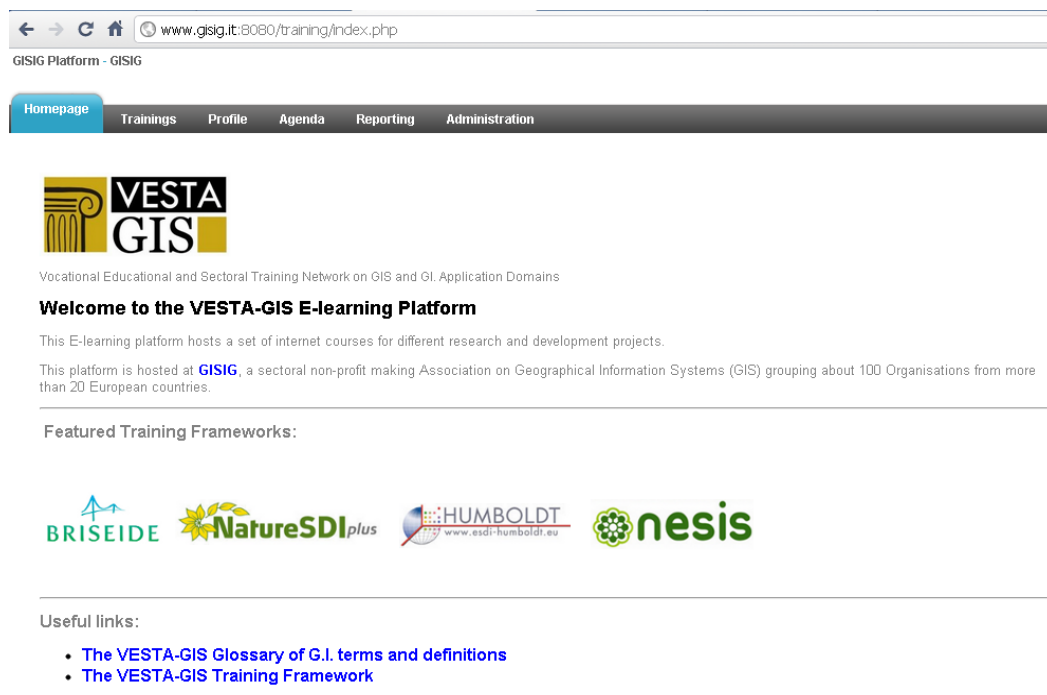


Figura 4 – La piattaforma di *e-learning*.

Il *front-end* del sistema è l'interfaccia con gli utenti. Gli utenti sono qui divisi in diversi ruoli, cioè studenti, insegnanti, sviluppatori di materiale di formazione e organizzazioni. Le “viste” per il tirocinante sono focalizzate sulle esigenze di un tirocinante “tipo” che frequenta uno o più corsi. Queste “viste” contengono l'accesso alle risorse (biblioteca, aule, laboratori informatici, ecc.) così come gli strumenti di amministrazione (monitoraggio delle performance, ecc.).

Le “viste” per il formatore contengono gli strumenti per l'assegnazione delle risorse ai tirocinanti, nonché gli strumenti per gestire i compiti amministrativi (monitoraggio, *reporting*, ecc.)

L'infrastruttura distribuita della piattaforma *e-learning* è progettata per collegare, in maniera interoperabile, diverse piattaforme, ospitate in diversi siti.

Integrazione di immagini satellitari e dati di campo per l'analisi delle coperture nevose

Rosamaria Salvatori, Fabio Cipolletti, Alessandro Mei, Paolo Plini

CNR, Istituto sull'Inquinamento Atmosferico. Via Salaria, km 29,300
00016 Monterotondo (RM), Tel. 06 90672451, salvatori@iia.cnr.it

Riassunto

Il monitoraggio delle coperture nevose con dati satellitari necessita di un compromesso tra l'utilizzo di immagini con alta risoluzione temporale e di immagini ad alta risoluzione spaziale e spettrale. In questo lavoro viene analizzata l'efficacia di utilizzare le immagini Aster, acquisite a livello 1A, per monitorare non solo l'estensione ma anche la tipologia di neve al suolo in due diversi contesti ambientali. L'utilizzo della libreria di firme spettrali di campo ha permesso la definizione delle diverse classi di neve e ghiaccio con cui classificare le bande del visibile e quelle dell'infrarosso sia separatamente che congiuntamente. I risultati preliminari ottenuti calibrando e co-registrando opportunamente le immagini ASTER, evidenziano la possibilità di sfruttare le potenziali spettrali di tali immagini per il monitoraggio delle coperture nevose a scala locale e regionale

Abstract

Monitoring snow cover using satellite data requires a compromise between the use of images with high temporal resolution and images with high spatial and spectral resolution. In this paper the effectiveness of using Aster level 1A images to monitor not only the areal distribution of the seasonal snow but also the type of snow on the ground in two different environmental situation is analyzed. Field spectral library were used to define snow and ice classes to be identify on the visible and infrareds bands. The preliminary classification result obtained calibrating and co-registering the two different sets of images (Vis and IR bands) underlined the possibility to use these images to monitoring snow cover at local and regional scale.

Introduzione

L'estensione stagionale delle coperture nevose, oltre a costituire un elemento non trascurabile del ciclo idrologico, rappresenta un indicatore significativo delle variazioni climatiche sia a scala regionale che a scala planetaria (Vavrus 2007); negli ultimi anni pertanto si è intensificato l'utilizzo delle immagini da satellite per valutare l'estensione di tali coperture e sia nelle aree polari che nelle aree montuose alle medie latitudini (Casacchia *et al.* 2000, Kay *et al.* 2003, Painter *et al.* 2003, Salvatori 2007, Salminen *et al.* 2009, Pepe *et al.* 2010, Spisni *et al.* 2010).

Il comportamento spettrale della neve nell'intervallo di lunghezza d'onda in cui vengono acquisite le immagini satellitari (350-2500 nm) è strettamente correlato con le proprietà fisiche del ghiaccio, quindi con la dimensione e la forma dei grani di neve, nonché con la presenza di impurità e di irregolarità superficiali. Il manto nevoso è infatti definibile come un insieme di grani la cui forma e dimensione è correlabili con la storia termica subita dallo strato nevoso a partire dal momento della sua formazione. Alle lunghezze d'onda del visibile la riflettanza della neve è generalmente compresa tra 0.8 e 1; valori inferiori sono riconducibili alla presenza di impurità sulla superficie del manto nevoso o alla presenza di acqua interstiziale. Alle lunghezze d'onda dell'infrarosso vicino e medio prevale l'effetto della granulometria e la riflettanza diminuisce gradualmente all'aumentare delle dimensioni dei grani (Warren 1982).

Sulla base di queste considerazioni, il riconoscimento dell'estensione delle aree coperte da neve tramite immagini satellitari ottiche è apparentemente semplice e può essere effettuato, ad esempio, calcolando l'indice di neve normalizzato (NDSI) a partire dalle bande del infrarosso (p.e. Landsat TM5, 1.55-1.75nm) e del verde (p. e. TM2 0.52-0.60nm) anche se, nelle aree montuose, gli effetti di ombra dovuti alla topografia e alla presenza di vegetazione o di formazioni nuvolose tendono a creare non pochi problemi (Rees 2006).

Considerando l'importanza del monitoraggio delle coperture nevose ai fini del bilancio idrologico e dei modelli climatici, l'attenzione della comunità scientifica è attualmente focalizzata soprattutto nell'utilizzare le immagini riprese nell'infrarosso vicino per determinare le caratteristiche superficiali delle coperture nevose, ossia la dimensione e la forma dei grani di neve (Painter et al. 2009, 2003), che possono essere correlate in modo efficiente con il metamorfismo della coltre nevosa. In questi casi l'elaborazione delle immagini è supportata oltre che dai modelli teorici sull'evoluzione del manto nevoso (Wiscombe & Warren 1980, Nolin & Dozier 2000) anche dall'utilizzo di firme spettrali di diverse tipologie di neve acquisite in laboratorio e/o in campo (Winther et al 2002, Salvatori et al. 2004, Domine et al. 2006). Riuscire a riconoscere sulle immagini i diversi tipi di neve fornisce infatti un lettura della storia climatica di una regione e un input dettagliato per i modelli di bilancio radiativo.

Questo lavoro si propone di verificare la possibilità di utilizzare le immagini ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection radiometer) per analizzare la tipologia di neve stagionale al suolo in regioni con caratteristiche climatiche nettamente differenti fra loro, disponendo di dati radiometrici al terreno.

Dati utilizzati: immagini e firme spettrali

Le immagini ASTER disponibili per questo lavoro sono state acquisite in formato CEOS livello 1A e sono relative ad un'area dell'Appennino Centrale (Monti della Laga; riprese: aprile 2005-settembre 2006) in cui le variazioni della neve al suolo si manifestano in tempi estremamente rapidi, ed ad un'area sita nel Circolo Polare Artico (Isole Svalbard, riprese: maggio-luglio 2001 - luglio 2007) in cui ovviamente le condizioni della neve al suolo rimangono stabili per tempi molto più lunghi.

Per lo studio delle coperture nevose sono state utilizzate solo le prime 9 bande ASTER (tab. 1).

Sottosistema	Banda	Lunghezza d'onda (μm)	Risoluzione spaziale (m)
VNIR (Visible and Near Infrared)	1 (verde)	0,52-0,60	15
	2 (rosso)	0,63-0,69	15
	3	0,78-0,86	15
SWIR (Short Wave Infrared)	4	1,60-1,70	30
	5	2,145-2,185	30
	6	2,185-2,225	30
	7	2,235-2,285	30
	8	2,295-2,365	30
	9	2,360-2,430	30
TIR (Thermal Infrared)	10	8,125-8,475	90
	11	8,475-8,825	90
	12	8,925-9,275	90
	13	10,25-10,95	90
	14	10,95-11,65	90

Tabella 1 – Caratteristiche del sensore ASTER.

Il lavoro di *pre-processing* è stato articolato in due fasi, la prima riguardante la calibrazione del dato e la seconda orientata alla determinazione dei valori di riflettanza.

Al fine di ottenere i valori di radianza a partire dai DN (Digital Numbers) dell'immagine, è stata effettuata preliminarmente la calibrazione radiometrica del dato; tale trasformazione viene generalmente espressa da relazioni lineari parametrizzate secondo dei coefficienti di calibrazione, tipici di ogni sensore e funzioni delle bande spettrali.

La relazione usata per ottenere il valore di radianza L_0 è stata la seguente (Gomasasca 2004):

$$L_{0(\lambda)} = DN_{(\lambda)} * gain_{(\lambda)} + offset_{(\lambda)}$$

in cui:

$L_{0(\lambda)}$: radianza spettrale [$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$]

$DN_{(\lambda)}$: Numeri Digitali derivati dalla radianza spettrale entrante nello strumento

$gain_{(\lambda)}$: coefficiente di guadagno o amplificazione del sistema [$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1} \cdot DN^{-1}$]

$offset_{(\lambda)}$: coefficiente di spostamento [$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$]

λ : lunghezza d'onda o intervallo spettrale di riferimento [μm]

Le informazioni per risalire al *gain* ed all'*offset* da assegnare all'immagine ASTER sono contenute nel file che accompagna l'immagine stessa e indicate nei documenti forniti dal proprietario del sensore (Abrams et al 2002, Tsuchida et al 2010).

La seconda fase ha avuto come obiettivo quello di determinare i valori di riflettanza dell'immagine ASTER a partire dal dato di radianza ottenuto nella prima fase del lavoro.

Ipotizzando le caratteristiche di una superficie Lambertiana, dove la radiazione solare incidente viene riflessa dalla superficie in tutte le direzioni in modo omogeneo ed isotropo, il segnale registrato dal sensore remoto può essere corretto dagli effetti dovuti alle condizioni di illuminazione attraverso la seguente relazione (Gomasasca 2004):

$$R = \pi * L_{0(\lambda)} / E_0 * \cos \theta$$

dove:

R: riflettanza apparente al sensore

$L_{0(\lambda)}$: radianza spettrale [$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$]

E_0 : irradianza solare al di sopra dell'atmosfera terrestre che incide su una superficie perpendicolare alla radiazione solare [$W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$]

θ : angolo di incidenza del flusso solare diretto sulla superficie della Terra, definito come angolo di Zenit solare

Per interpretare le immagini in riflettanza sono state utilizzate le informazioni derivanti da campagne di misura al terreno. Le misure radiometriche disponibili però sono state effettuate in tempi diversi da quelli di acquisizione delle immagini, pertanto le misure sono state impiegate principalmente per definire i rapporti reciproci tra le diverse tipologie di neve al suolo e definire le classi da riconoscere sulle immagini.

I dati spettro radiometrici di campo sono stati acquisiti nell'intervallo 350-2500 nm, utilizzando uno spettro radiometro portatile Fieldspec -FR3 (Analytical Spectral Devices Inc. USA). Le misure sono state effettuate acquisendo i dati direttamente come fattore di riflettanza, ossia come rapporto tra la radiazione solare incidente riflessa dalla superficie del target e la radiazione incidente riflessa dalla superficie di riferimento (Spectralon). Ogni misura radiometrica è stata accompagnata da osservazioni nivologiche dello strato di neve superficiale (forma e dimensioni dei grani, densità e temperatura misurata a -2cm e a -10cm).

Le misure radiometriche utilizzate in ambito polare sono state acquisite nel corso delle campagne di misura Artiche 2000-2001 (Salvatori, 2003), mentre le misure relative alle immagini dei Monti della Laga sono state acquisite dagli autori nel 2009.

In figura 1 sono riportate le misure radiometriche effettuate su un sito di campionamento nei Monti della Laga. Le variazioni maggiori tra le firme spettrali delle superfici analizzate sono riscontrabili alle lunghezze d'onda del visibile, mentre intorno a 1300 nm i valori radiometrici si approssimano e rimangono simili per la parte restante dello spettro. Le variazioni nel visibile sono da attribuire sia alla presenza di piccole percentuali di impurità (polveri e materiale vegetale), sia alla rugosità superficiale a scala centimetrica. Nell'infrarosso vicino, in cui la risposta radiometrica è legata principalmente alla tipologia e alla dimensione dei grani, i valori non presentano variazioni

significative, dimostrando che il target in oggetto può essere considerato come costituito da grani omogenei; ne consegue che, per questo target è possibile definire una unica classe di neve da utilizzare per la classificazione dell'immagine ASTER. L'entità della possibile variazione spettrale di uno stesso target di neve è evidenziata nella figura 2 in cui sono riportate le firme spettrali, riprese a distanza di 10 minuti, sullo stesso punto, senza aver spostato la strumentazione. La prima misura (media di 20 acquisizioni) è stata effettuata in assenza di vento, la seconda (media di 10 acquisizioni) è stata ripresa mentre una raffica di vento improvvisa muoveva la neve.

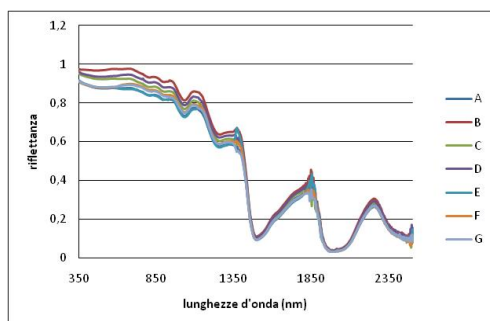


Figura 1 – Firme spettrali rilevate nel sito 1 (Collepagliuca, Monti della Laga) su superficie di neve ventata. I target sono posizionati a distanza di 10 m.

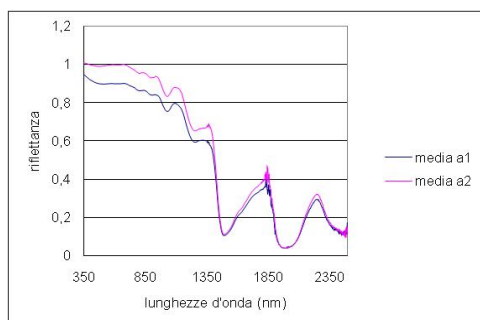


Figura 2 – Firme spettrali relative allo stesso target; le differenze sono dovute al movimento della neve causato dal vento durante la ripresa della misura.

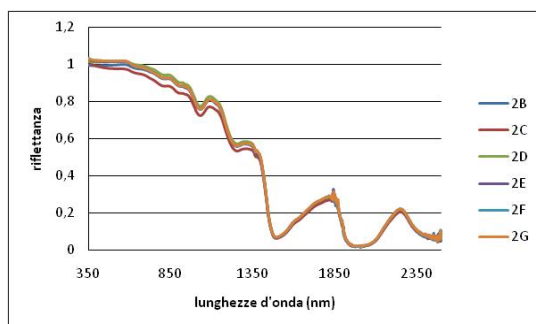


Figura 3 – Firme spettrali relative a su superficie di neve ventata (loc. Prato, Monti della Laga).

Questa curva non è rappresentativa della neve al suolo ma è indicativa di come i valori radiometrici registrati in un pixel dell'immagine possano essere influenzati da variazioni locali al suolo, anche di piccola entità. Nella figura 3 sono riportate le firme spettrali riprese in località Prato (Monti della Laga), campionate a 10 m di distanza l'una dall'altra e in condizioni meteo estremamente stabili. In questo caso è evidente l'omogeneità spettrale delle superfici considerate.

Le misure rappresentate nella figura 4, invece, sono state effettuate su diverse tipologie di superfici nevose. In questo caso, le differenze nei valori di riflettanza nell'infrarosso vicino, tra 1300 e 1400 nm sono riconducibili alle diverse dimensioni dei grani di neve dei target investigati e possono essere considerate come classi di neve diverse.

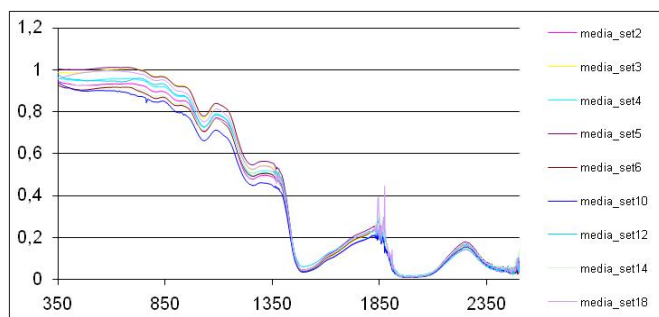


Figura 4 – Firme spettrali località Campo Felice (AQ).

Risultati preliminari e conclusioni

L'estensione delle coperture nevose presenti sulle immagini ASTER è stata inizialmente evidenziata effettuando un'elaborazione in falsi colori delle bande del visibile e dell'infrarosso vicino (RGB=321) e queste stesse bande sono state utilizzate per una prima classificazione della neve. La diversa risoluzione spaziale delle bande ASTER (tab.1) ha permesso di condurre un'analisi comparata; in questa prima fase si è scelto infatti di non co-registrare tra loro le bande del visibile e dell'infrarosso per non perdere il dettaglio spettrale. Questa scelta, motivata dalla possibilità di utilizzare le misure di campo, sebbene riprese in periodi diversi, ha permesso di definire le tipologie di superfici da riconoscere in base alle analogie spettrali. In figura 5 sono riportate le firme spettrali di 2 diverse coperture nevose ricampionate negli intervalli di lunghezze d'onda delle bande ASTER (tab. 1). Così elaborate le firme spettrali si mostrano significativamente diverse nelle prime tre bande che quindi possono essere considerate diagnostiche di diverse tipologie di neve. Le differenze nella bande 4-9, leggermente minori, hanno motivato la scelta di utilizzare queste bande separatamente dalle bande del visibile.

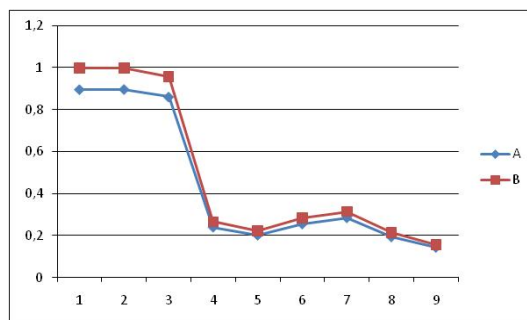
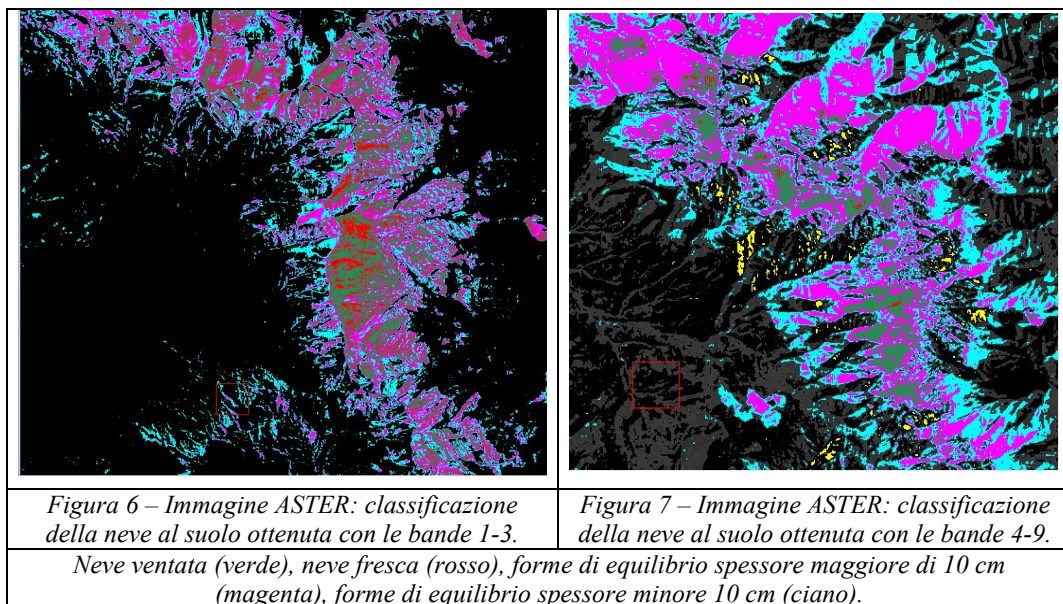


Figura 5 – Firme spettrali relative a forme di equilibrio (A) e neve fresca (B) rilevate a Campo Felice (AQ), ricampionate negli intervalli di lunghezze d'onda del sensore ASTER. In ascisse la riflettanza in ordinate le lunghezze d'onda espresse come bande ASTER.

Dopo aver ricampionato tutte le curve disponibili alle lunghezze d'onda dell'ASTER sono state definite 4 classi di "neve" ed è stata effettuata una classificazione di massima verosimiglianza sulle bande 1-3. Le classi di neve individuate sono: neve ventata, neve fresca, forme di equilibrio con spessore maggiore di 10 cm e forme di equilibrio con spessore minore 10 cm. Nel definire le classi si è tenuto conto della esperienza maturata nella classificazione delle immagini relative alle regioni polari (Salvatori et al 2004, Casacchia et al). Una simile elaborazione è stata effettuata anche per le bande da 4-9, dopo averle opportunamente co-registrate tra loro.



In figura 6 è riportata la classificazione ottenuta con le bande 1-3 e nella figura 7 la classificazione ottenuta con le bande 4-9; è evidente la diversa risoluzione spaziale delle immagini e le conseguenti differenze nella distribuzione delle classi di neve. La classificazione illustrata in figura 6 è quella che più rispecchia la realtà territoriale, sebbene non sia stato possibile, per ovvi motivi logistici, effettuare un controllo di campo. Rilievi effettuati nel mese di febbraio 2010, hanno però evidenziato notevoli similitudini tra l'immagine ottenuta e la distribuzione e le caratteristiche della neve al suolo.

Un'ulteriore elaborazione è stata poi effettuata riportando le bande dell'infrarosso alla stessa risoluzione spaziale delle bande del visibile. Il ricampionamento è stato effettuato utilizzando le procedure di *warp- image to image* implementate in ENVI, accettando l'errore di 1-2 pixel.

Le immagini sono state quindi classificate con un classificatore di massima verosimiglianza utilizzando per la selezione delle regioni di interesse le informazioni derivanti dalle misure spettroradiometriche al terreno effettuate nell'area.

Nell'immagine relativa all'area di Ny Ålesund del 12/7/2007 sono state selezionate 7 classi, ponendo attenzione a distinguere la classe neve, corrispondente ai nevai posti nelle aree sommitali dei ghiacciai, dalla classe neve in fusione e dalla classe ghiaccio scoperto.

I risultati della classificazione ottenuta mostrano un buon accordo con la realtà territoriale. La non perfetta corrispondenza geometrica tra le immagini del visibile e dell'infrarosso ha portato a una modesta definizione delle neve presente nei canali, pertanto la procedura è stata ripetuta utilizzando solo le prime 3 bande (fig.8). In questo caso è stato possibile ottenere la stessa discriminabilità delle classi relative a neve e ghiaccio ma con un maggior dettaglio spaziale sui

versanti dei rilievi. Nel caso delle immagini relative alla stagione primaverile, invece, nella definizione delle classi di neve al suolo prevale l'importanza dell'informazione contenuta nelle bande dell'infrarosso.

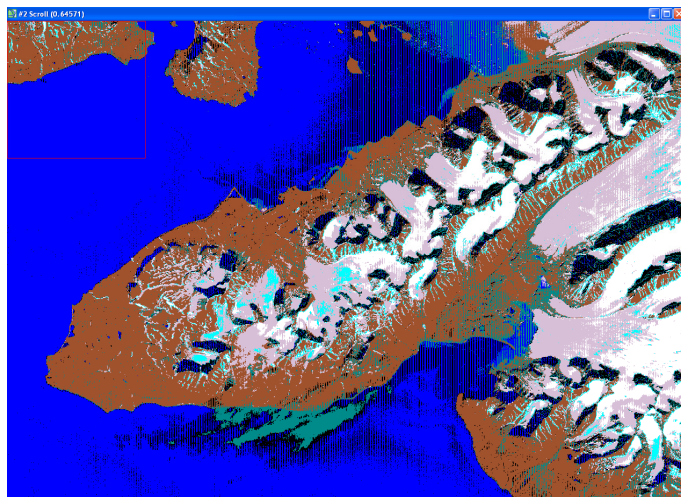


Figura 8 – Classificazione dell'immagine aster del 12/7/2007 (Ny Ålesund Isole Svalbard-Norvegia) 7 classi.

Bibliografia

- Abrams, M., Hook, S., Ramachandran, B., (2002). "ASTER User Handbook, ver.2.", *Jet Propulsion Laboratory, EROS Data Center*
- Casacchia R., Lauti F., Salvatori R., Cagnati A., Valt M., Orbek J.B. (2000). "Radiometric investigation on different snow covers at Ny-Alesund, Svalbard", *Polar research* 20: 13-22
- Domine F., Salvatori R., Legagneux L., Salzano R., Fily M., Casacchia R. (2006) "Correlation between the specific surface area and the short wave infrared (SWIR) reflectance of snow: preliminary investigation", *Cold Regions Science and Technology*, 46, 60-68.
- Gomarasca M. (2004) *Elementi di geomatica*. Ed. AIT
- Nolin A. W. and J.Dozier. (2000) "A Hyperspectral Method for Remotely Sensing the Grain Size of Snow", *Remote Sens. Environ.* 74:207–216
- Painter, T. H., Dozier, J., Roberts, D. A., Davis, R. E., & Green, R. O.(2003). "Retrieval of subpixel snow-covered area and grain size from imaging spectrometer data", *Remote Sens. Environ.*, 85(1),
- Painter, T. H., Rittger K., McKenzie C., Slaughter P., Davis R.E., Dozier J. (2009), "Retrieval of sub pixel snow covered area, grain size, and albedo from MODIS", *Remote Sens. Environ.*, 113, 869-879,
- Pepe M., Boschetti L., Brivio P.A., Rampini A. (2010) "Comparing the performance of fuzzy crisp classifiers on remotely sensed images: a case of snow classification", *Int. Jour. Remote Sensing* vol.31 No.23: 6189-6198.
- Rees W.G. (2006) *Remote sensing of snow and ice*, Taylor & Francis, USA, 1-285
- Salminen M., Pullianen J., Metsämäki S., Kontu A., Suokanerva H (2009) "The behaviour of snow and snow-free surface reflectance in boreal forests: Implications to the performance of snow covered area monitoring", *Remote Sens. Environ* 113, 907–918
- Salvatori R., (2003), "An experimental integrated approach to study snow ice radiometric characteristics at Ny-Ålesund", *Polarnet Technical Report Series, PRT-1/2003*. 116-117
- Salvatori R. (2007), "Monitoraggio delle coperture nevose con tecniche satellitari per lo studio dei cambiamenti climatici in aree polari", *Clima e cambiamenti Climatici: le attività di ricerca del CNR*

- Salvatori R., Casacchia R., Grignetti A., Valt M., Cagnati C., Plini P.(2004), "Cartografia delle coperture nevose nelle Svalbard occidentali", *8 conferenza Nazionale ASITA*
- Spisni A., Tomei F., Pignone S., Muzzi E., Panzacchi A., Antolini G., Villani G., di Lorenzo M., Foraci R., Bittelli M., Brooks E.S. (2011), "Snow cover analysis in Emilia-Romagna". *Rivista Italiana di Telerilevamento-Italian Journal of Remote Sensing*, 43 (1): 59-73.
- Tsuchida S., Sakuma H., Iwasaki A., (2010), "Equations for ASTER radiometric calibration" at <http://staff.aist.go.jp/s.tsuchida/aster/cal/info/equation/index.html>
- van Ede R. (2004) "Destriping and Geometric Correction of an ASTER Level 1A Image" at <http://gis-lab.info/docs/aster-report-v3.pdf>
- Vavrus, S. (2007), "The role of terrestrial snow cover in the climate system", *Climate Dynamics*, 29, 73–88.
- Warren, S. G. (1982). "Optical properties of snow". *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 20, 67–89.
- Winther J.G., Godtliessen F., Gerland S., Isachsen P.E., (2002), "Surface albedo in Ny-Ålesund, Svalbard: variability and trends during 1981–1997", *Global and Planetary Change* 32, 127–139
- Wiscombe, W. J. & Warren, S.G. (1980), " A model for the spectral albedo of snow. I: pure snow". *Journal of Atmospheric Sciences*. 37: 2712-2733.

L'introduzione della variabile tempo nei modelli dati/metadati per applicazioni di protezione civile

Mauro Salvemini, Laura Berardi, Alessandro Cimbelli (*),
Giuseppe Conti, Federico Prandi (**)

(*) Sapienza Università di Roma, Dipartimento di Architettura e Progetto, LABSITA, piazza Borghese 9
00186 Roma, Tel. +39 0649918830, Fax +39 0649918873

{mauro.salvemini} {laura.berardi}@uniroma1.it, cimbelli@libero.it

(**) Fondazione Graphitech, Via Alla Cascata 56/c 28133 Trento, Tel. +39 0461283394, Fax +39 0461283398
{Giuseppe.conti} {Federico.prandi}@graphitech.it

Riassunto

L'analisi delle informazioni in tempo reale, necessaria nella gestione delle emergenze, comporta l'esigenza di utilizzare standard di metadati adeguati alla loro rappresentazione. La variabile tempo presente nelle attuali regole di implementazione di INSPIRE non descrive al meglio la "dinamicità" dei dati spaziali disponibili. L'intervallo temporale di validità del dato o le relative date di creazione/aggiornamento/pubblicazione non sono infatti sufficienti per rappresentare la frequenza di acquisizione e di diffusione delle osservazioni, necessarie ad esempio per determinare la posizione di un veicolo in movimento. Nell'intento di rispondere a tali esigenze il progetto europeo BRISEIDE ha aggiunto ai modelli di metadati di Inspire ulteriori elementi quali la granularità e la frequenza di aggiornamento dei dati geospaziali. Ciò consentirà la implementazione di servizi di visualizzazione, di ricerca e di analisi remota più adeguati per gli scopi di Protezione Civile.

Abstract

In risk protection or emergencies management the need of real-time processing of dataset coming from remote or ground sensors requires the use of a suitable and standard set of metadata. Currently, Inspire's Implementation Rules don't consider the variability of geographic information over time at best. Time dimension in metadata standard is only related to the date of creation, update or publishing and to the temporal extent of the resource. These metadata elements are not enough to properly represent, and filter out in the catalogue searches, the sensor frequencies of acquisition and re-transmission. In this way scenarios like real-time detection of a moving vehicle, planned acquisition of satellite images over the studied area or data collection from ground sensors could not be adequately modeled. BRISEIDE project intends to answer these needs with the consideration of two other metadata elements: granularity and frequency of update. The new metadata set of element will permit the implementation of better view, search and analysis services over the project web portal.

Introduzione

Il progetto Europeo BRISEIDE (BRIdging Services, Information and Data for Europe) ha come obiettivo lo sviluppo di servizi web ad elevato valore aggiunto al fine di supportare le attività di previsione dei rischi e di gestione delle emergenze ambientali. In tali contesti è infatti fondamentale avere a disposizione informazioni continue e precise sul territorio analizzato. Conoscere con esattezza la velocità di spostamento e la posizione del fronte del fuoco nel caso di incendi boschivi, gli spostamenti del terreno a rischio frane, il livello delle acque dei fiumi o la dislocazione istantanea dei mezzi di soccorso risulta di fondamentale importanza per minimizzare i tempi di intervento. L'utilizzo di strumenti di analisi spaziale delle informazioni consente poi di migliorare

la visualizzazione dei dati, di considerare la correlazione spaziale delle variabili in gioco e di coordinare più facilmente le azioni sul territorio.

Il progetto comprende un consorzio costituito da 15 partner europei di differenti Paesi ed è ormai giunto al secondo anno di vita. In questo periodo è stata ultimata la fase progettuale, l'implementazione dei servizi web e dei previsti software desktop. In particolare sono stati definiti non solo le specifiche relative ai dati, metadati e servizi prodotti in seno al progetto, ma anche gli scenari applicativi per i diversi partner europei coinvolti.

L'utilizzo di diverse fonti di dati o di servizi web e la varietà di scenari previsti hanno comportato la soluzione di alcuni aspetti critici come la interoperabilità dei dati e la standardizzazione dei servizi web. In tale contesto la scelta di un set di metadati in grado di gestire opportunamente la variabile tempo è stata fondamentale. Nell'ambito delle applicazioni di protezione civile la velocità di risposta alle emergenze riveste un ruolo fondamentale, per cui la dimensione tempo deve caratterizzare necessariamente alcuni set di dati, consentendone così la visualizzazione, l'estrazione e l'analisi immediata.

Le attività necessarie per raggiungere tali obiettivi richiedono normalmente informazioni precise e ben organizzate. In BRISEIDE non tutti i dati messi a disposizione dai partner sono risultati immediatamente utilizzabili ai fini del progetto. Allo stesso modo i servizi web già esistenti nelle varie realtà nazionali sono risultati spesso non standard o obsoleti dal punto di vista tecnologico. Come ultimo aspetto, i metadati indicati da Inspire per dati e servizi non considerano la variabile tempo come aspetto fondamentale per descrivere la dinamicità del dato, ma solo per descrivere staticamente la risorsa cui si riferiscono (data di creazione, modifica, pubblicazione e intervallo di validità).

Per risolvere tali criticità sono state condotte due azioni specifiche nei primi sei mesi del progetto: una indagine sulle caratteristiche dei dati e servizi messi a disposizione dai vari partner e una analisi sulle soluzioni proposte sui metadati in simili progetti europei.

Indagine

Uno degli aspetti basilari del progetto è stata la ricognizione e l'analisi dei dati/metadati e servizi a disposizione, al fine di stabilire la qualità e l'omogeneità delle informazioni a disposizione. L'indagine condotta per quantificare e caratterizzare la disponibilità di dati e servizi offerti dai partner del progetto ha previsto l'uso di schede digitali realizzate in formato MS Excel ed inviate direttamente ai fornitori dei dati. Le informazioni sono state distinte per tipo di dato: raster, vettoriale o alfanumerico. A questi sono stati aggiunti i servizi di pubblicazione cartografica su web. Al fine di pianificare le successive attività di standardizzazione dei dati è stata posta particolare attenzione al tipo di formato file utilizzato, al sistema di riferimento, alla lingua utilizzata, ai diritti d'uso, alle caratteristiche temporali e alla presenza di metadati.

Relativamente alla variabilità temporale dei dati raster e vettoriali, le possibili risposte previste nel questionario sono state: solo nella geometria, solo negli attributi, sia nella geometria che negli attributi. In 77 casi è stata fornita tale informazione e il risultato ottenuto è stato che solo in un caso su tre si ha a che fare con dati statici, mentre nel restante 66% i dati sono variabili nel tempo. Di questi ultimi, la maggior parte (84%) presenta variazioni anche nella geometria, mentre solo il 16% varia unicamente negli attributi. Sono soprattutto i dati vettoriali quelli responsabili della rappresentazione nel tempo delle modifiche geometriche o informative del dato, mentre le immagini vengono utilizzate per i dati statici o come risultato di alcune elaborazioni (ad es. change detection). Il fatto, infine, che solo per 77 casi su 168 (dati raster e vector), quindi nel solo 46% dei casi, si abbia l'informazione sulla dimensione temporale dei dati dimostra come tale caratteristica sia ancora poco sentita come importante per la loro analisi e rappresentazione.

	A	B	C	D
1		VD 1	VD 2	
2	Dataset	ITHACA	IFFI	CORINE Land Cover
3	Description	Capable faults in Italy	Italian Landslide Inventory	A land cover database of Europe
4	Format	shp	ArcSDE	shp
5	Storage	DB	DB	DB
6	Protocol Access	WMS	WFS	WFS
7	Data URL	http://sg1.isprambiente.it/ArcGIS/	Available from September 2010	http://wms.pcn.minambiente.it/g
8	Use	Public	Public	Public
9				
10	CRS	EPSG:4326	EPSG:32632	EPSG:32632
11	Scale	1:25,000	1:25000	1:100000
12	Attributes	kinematics(string)	type of movement, state of activity (IINT)	Industrial or commercial units (cod 121); Road and railway network (cod 122) - IINT
13	Temporal Properties			Time series
14	Language	Italian	Italian	Italian
15	Metadata	res	res	res
16	Metadata Standard	ISO19139	ISO TC211 19139	ISO 19115
17	Metadata URL	http://sg1.isprambiente.it/ArcGIS/	http://sg1.isprambiente.it/geoportal/rest/doc/ument?id%7B5B4F87A7-6FD3-40F0-6B0-9B3E22567269%7D	http://www.pcn.minambiente.it/r/arch/mdView.jsp?ID=713
18	Owner	ISFRA	ISFRA	EEA

Figura 1 – Esempio della scheda di rilevazione.

Quando si effettuano analisi spazio-temporali si ha mediamente a che fare con dati che variano col tempo sia nella geometria (posizione, forma) che negli attributi. La frequenza ormai consolidata di certe osservazioni, la diffusione dei sensori e il miglioramento delle modalità di trasmissione dei dati raccolti fa prevedere un incremento nell'uso di dati dinamici nel tempo e apre le porte alla realizzazione di nuovi strumenti di analisi spazio-temporale. Ciò è ancora più vero se si affrontano applicazioni di prevenzione e intervento nei casi di emergenze ambientali.

La rapidità di raccolta dei dati territoriali per applicazioni di Protezione Civile deve corrispondere parallelamente alla possibilità di analizzare gli stessi tramite servizi web di analisi spaziale. I protocolli proposti da OGC (Open Geospatial Consortium) offrono la possibilità di poter interrogare i dati in modo standard da diverse piattaforme, basate su software desktop o web. Dal punto di vista dei servizi disponibili sul web tramite standard OGC si riscontra una certa divaricazione sul numero dei servizi di sola visualizzazione dei dati e quelli che ne consentono lo scarico, la catalogazione o l'analisi remota. In altri termini, mentre esiste sul web un buon numero di servizi WMS, non sono ancora molti quelli che pubblicano dati geografici negli standard WFS e WCS (per il download di vettoriali e raster), CSW (per la catalogazione) e WPS (per il processing remoto).

L'indagine condotta in BRISEIDE dimostra effettivamente tale tendenza: su un totale di 42 servizi web di pubblicazione di dati spaziali, oltre la metà è rappresentata da WMS o altri servizi non standard OGC e il 35% da quelli WFS. Quasi inesistenti gli altri.

Vector	108	}	WMS	17
Raster	60		WFS	15
Alphanumeric	36		WCS	-
Services	42		CSW	2
			WPS	2
			Others	6
Total	246		Total	42

Figura 2 – Dettaglio degli standard OGC usati nei servizi web.

Nei casi di servizi WMS, inoltre, nessuno consente di rispondere a richieste di dati a specifici istanti o intervalli temporali. Sono abbastanza recenti infatti le implementazioni nei server cartografici che consentono di rispondere a richieste temporali secondo il protocollo WMS-T (time).

Tra gli obiettivi già raggiunti dal progetto BRISEIDE nella realizzazione di servizi spazio-temporali sul web vi sono proprio quelli di integrare in una unica piattaforma i servizi standard messi a disposizione dai partner migliorandone le possibilità di interrogazione ed analisi tramite la considerazione della variabile tempo attraverso l'implementazione di nuovi servizi WMS, WFS e WCS.

Metadati

Nei metadati di Inspire sono attualmente previsti 4 elementi che descrivono la variabile tempo associata a dati e servizi: le date di creazione, aggiornamento, pubblicazione e l'estensione temporale dell'informazione geografica. Come già anticipato tali informazioni non sono sufficienti nei casi di gestione ed analisi continua del flusso di informazioni, in particolare nei casi di gestione delle emergenze. Per comprendere meglio le difficoltà suddette consideriamo, come esempio, l'acquisizione di un parametro ambientale per un periodo di un anno (estensione temporale dei dati) da parte di varie stazioni che rilevano per un'ora (estensione temporale dell'evento) al giorno (risoluzione temporale o granularità). Immaginiamo poi che tali dati vengano resi disponibili agli utilizzatori ogni settimana (frequenza di aggiornamento). Uno scenario simile verrebbe solo parzialmente documentato utilizzando i metadati di Inspire.

Già nel 2008 Makx Dekkers e Massimo Craglia avevano analizzato i criteri per l'utilizzo dell'informazione geografica in Inspire. Il risultato di tale analisi concludeva con alcune raccomandazioni, tra cui:

- L'estensione temporale dovrebbe riferirsi all'oggetto della risorsa (come ad esempio un limite amministrativo) e non alla risorsa stessa (l'elemento vettoriale che rappresenta il limite amministrativo).
- I fornitori dei dati dovrebbero usare lo standard ISO 8601 per le singole date e ISO 19801 per gli intervalli di tempo.
- Dovranno essere sviluppati servizi in grado di preservare la granularità e la precisione delle informazioni temporali associate ai dati.

Nell'ultimo punto si sottolineava l'importanza della risoluzione temporale, o granularità, come elemento fondamentale nei metadati per la catalogazione e la ricerca di informazione geografica. Alla stessa conclusione sono giunti altri due progetti Europei, IDE-Univers e AWARE, che più o meno contemporaneamente hanno riportato che Inspire non consente di specificare la variabile tempo associata alla occorrenza di un evento rappresentato da uno o più dati spaziali o da una serie di questi. Allo stesso modo non si può specificare la relativa granularità.

Alcuni progetti successivi hanno tentato di esprimere le differenti semantiche della dimensione temporale tramite l'utilizzo di linguaggi appositamente creati, come il TimeML proposto da Bordogna ed altri del CNR nel 2009. Il linguaggio, derivato dal XML, ha consentito di introdurre nuovi elementi che possono esprimere la granularità e consentono la distinzione dell'oggetto geometrico da ciò che realmente rappresenta. Ma l'introduzione di un nuovo linguaggio, non standard, avrebbe pesanti ripercussioni nello sviluppo dei servizi proposti da Inspire.

L'analisi di simili e successivi progetti Europei ha fornito altri elementi nella ricerca di una soluzione per BRISEIDE. Ma solo nei casi in cui questi hanno affrontato il problema della gestione delle emergenze si sono potuti ottenere degli spunti per la soluzione delle criticità legate alla dimensione tempo. I progetti analizzati sono tutti legati in qualche modo alla gestione delle informazioni del territorio.

NatureSDI*plus*, progetto finanziato nell'ambito del programma *eContentplus*, realizza una rete di buone pratiche per gli aspetti di conservazione degli ambienti naturali e, pur gestendo le informazioni georeferenziate sulle aree naturali comunitarie, non ha come obiettivo la gestione delle relative emergenze. Il progetto propone l'utilizzo di nuovi profili di metadati per i vari temi del

progetto, ma utilizza per il tempo gli stessi elementi proposti da Inspire. Lo stesso fa EURADIN (*eContentplus*) che affronta il tema dell'armonizzazione degli archivi di indirizzi a livello europeo. L'armonizzazione dei dati relativi alla pianificazione territoriale, ricorre anche in Plan4All, altro progetto *eContentplus*. In tal caso la variabile tempo viene maggiormente caratterizzata, tramite l'introduzione della frequenza di aggiornamento, per descrivere meglio il processo di revisione dei piani regolatori, e l'interdizione temporale, nei casi di divieti temporali di cambi di destinazione d'uso. Il progetto MEDIS, finanziato nell'ambito del V programma quadro e realizzato negli anni 2002-2006, ha affrontato il problema della emergenza idrica nelle isole del Mediterraneo. In tale contesto è stato proposto un set di metadati esteso rispetto a quello proposto da Inspire che consentisse di documentare la risoluzione temporale dei modelli idrologici anche per i dati vettoriali. Allo stesso modo sono stati introdotti altri due elementi relativi alla estensione temporale della risorsa e dell'evento.

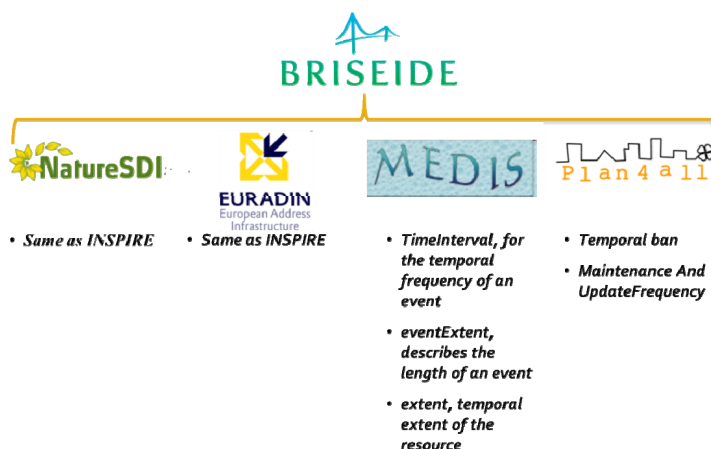


Figura 3 – Variabile tempo nei metadati di recenti progetti Europei.

Ma quali sono gli elementi dei metadati necessari per BRISEIDE? Da una approfondita analisi condotta insieme ai vari partner si è potuto constatare che nei 44 casi d'uso previsti nei 9 differenti scenari l'utilizzo della granularità è previsto in soli 5 casi, mentre quello della frequenza di aggiornamento in 13. Osservando i singoli casi si evidenzia che la granularità è stata considerata essenziale nei casi di acquisizione di dati da sensori distribuiti sul territorio e nel caso di eventi sismici. La risoluzione temporale e la frequenza di aggiornamento risultano quindi essenziali nei casi di fenomeni ambientali molto rapidi per cui serve una conoscenza in tempo reale delle relative grandezze. Non è stato necessario introdurre nuovi elementi nello standard ISO19115/ISO19119. La granularità, prevista per i soli dati raster (codice ISO 182), è stata utilizzata anche per i dati vettoriali, mentre la frequenza di aggiornamento è già presente nella classe *MD_Identification* con il codice ISO 143, pur non risultando nel *core dataset*.

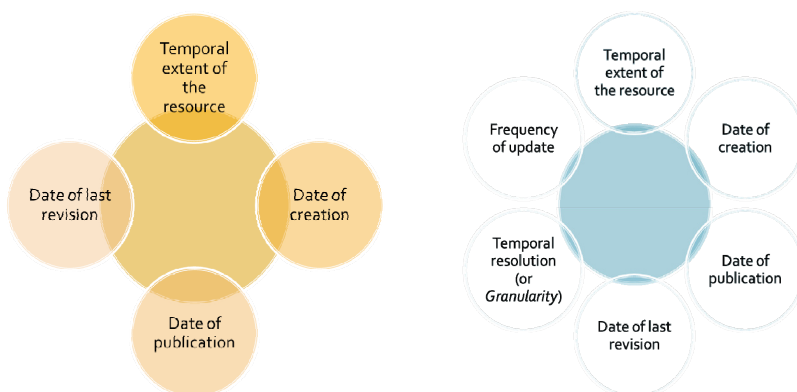


Figura 4 – Metadati temporali in Inspire e in BRIDEIDE.

Conclusioni

Al momento lo standard ISO19115-19119 più vicino alle *Implementing Rules* di Inspire non considera adeguatamente la variabile tempo nella modellizzazione delle emergenze ambientali. Ad oggi il gruppo di lavoro sui metadati TC211 sta ipotizzando l'introduzione della risoluzione temporale nella classe *MD_DataIdentification* dello standard ISO19115, ma gli eventuali sviluppi non si avranno prima del 2013.

BRIDEIDE, in attesa di future revisioni agli standard europei, aggiunge due elementi ai metadati proposti da Inspire come assolutamente necessari: la granularità e la frequenza di aggiornamento. Senza inserire nuovi elementi al set di metadati esistente, il che avrebbe causato qualche difficoltà di integrazione con altri servizi web e di implementazione sul geoportale del progetto, sono stati utilizzati due elementi già esistenti nei metadati dello standard ISO19115: *resolution (dimResol)* e *maintenanceAndUpdateFrequency(mainFreq)*. In tal modo è stato possibile omogeneizzare i dati condivisi dai vari partner del progetto secondo uno stesso set di regole al fine di ottenerne l'interoperabilità. La variabile tempo è stata infine considerata anche nella implementazione di servizi web spazio-temporali realizzati secondo i protocolli OGC (WMS, WFS, WCS).

Bibliografia

- Bordogna G., Bucci F., Carrara P., Pagani M., Pepe M., Rampini A. (2009), *Extending INSPIRE Metadata to imperfect temporal descriptions*. Article under Review for the International Journal of Spatial Data Infrastructures Research, Special Issue GSDI-11.
- Dekkers M. (2008), *Temporal Metadata for Discovery - A review of current practice*, Craglia M. (ed.), EUR 23209 EN, *JRC Scientific and Technical Report*.
- Nativi S., Ross G. (2006), *Temporal Extension metadata*, position paper
- A.A.V.V., *EURADIN Metadata Profile: Technical Guidelines – ANNEX B: Metadata description tables*, deliverable 4.2.3 of the project EURADIN
- Janecka K., Kafka S. (2010), *Analysis of National Requirements on Spatial Planning Metadata*, deliverable D-3.1 of the project Plan4all
- Wilde M., Lange M., Pundt H., Ostländer N., Janowicz K. (2003) - *An environmental metadata profile in the EU project MEDIS* – 17th International Conference on Informatics for Environmental Protection (EnviroInfo), Cottbus, Germany

Servizi operativi per la gestione del rischio sismico basati su dati satellitari SAR e ottici

S. Salvi (*), S. Vignoli (**), S. Zoffoli (***), V. Bosi (****), R. Giuliani (****)

(*) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Roma, Italy

(**) Advanced Computer Systems srl, Roma, Italy

(***) Agenzia Spaziale Italiana, Roma, Italy

(****) Dipartimento della Protezione Civile, Roma, Italy

Nel 2007 è stato finanziato dalla Agenzia Spaziale Italiana un progetto pilota per dimostrare la possibilità di un utilizzo operativo di dati di osservazione della Terra (EO) in varie attività di gestione del Rischio Sismico da parte del Dipartimento di Protezione Civile. In questo progetto è stato sviluppato il sistema SIGRIS (Sistema di Osservazione della Terra per la Gestione del Rischio Sismico, www.sigris.it).

Le caratteristiche principali del sistema SIGRIS sono: generazione di prodotti di alto livello scientifico, integrazione di dati terrestri e vari tipi di dati satellitari (SAR e ottici) per estrarre informazioni e parametri geofisici, archiviazione e gestione di grandi volumi di dati immagine, rapidità di generazione dei prodotti per la gestione delle emergenze, uso di un sistema di diffusione web-based per distribuire i prodotti agli utenti.

Il modulo di processing del sistema SIGRIS si basa sull'integrazione tra una piattaforma GIS (ArcMap) e vari ambienti di calcolo, tra cui il principale è IDL/ENVI. SIGRIS è in grado di generare 10 prodotti suddivisi in due servizi: il primo supporta le attività nella conoscenza e prevenzione, ed è costituito da prodotti il cui principale utilizzo è a sostegno della valutazione di pericolosità sismica, e il secondo riguarda la fase di Crisi, in cui i prodotti sono rapidamente generati e messi a disposizione dell'utente.

Tra i prodotti per la conoscenza e prevenzione hanno particolare rilevanza le mappe di accumulo della deformazione intersismica lungo faglie attive, generate con tecniche di Interferometria SAR multi temporale con dati dei satelliti ERS-ENVISAT, ALOS e COSMO-SkyMED. Questi prodotti sono generati usando le tecniche PS-InSAR e SBAS, queste ultime con codici di IREA-CNR e con il software SarScape. Successivamente, tramite adeguata modellazione, le deformazioni intersismiche vengono invertite per stimare i parametri delle faglie attive, e fornire quindi degli elementi importanti per la redazione delle mappe di pericolosità sismica (Figura 1).

Durante le crisi sismiche SIGRIS è inoltre in grado di generare in 1-2 giorni mappe dei crolli e danni gravi, mappe della deformazione cosismica e modelli della sorgente profonda (Figura 2); tutti elementi fondamentali per la gestione dell'emergenza.

Durante la fase di dimostrazione sistema SIGRIS è intervenuto per le crisi sismiche di Haiti, L'Aquila, Christchurch (Nuova Zelanda), Tohoku (Giappone), Yushu (Cina). Il progetto è terminato ad Aprile 2011, e si è in attesa di un finanziamento per avviare l'utilizzo operativo del sistema.

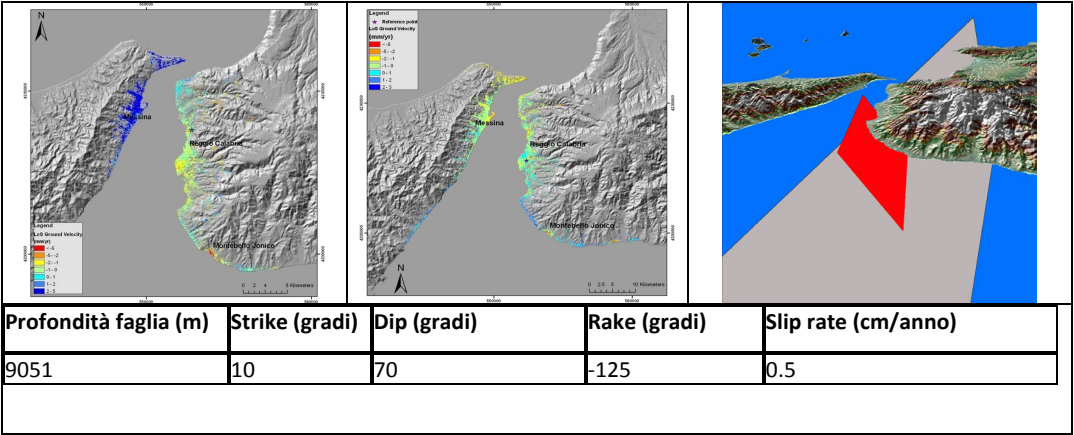


Figura 1 – In alto, da sinistra: Velocità del suolo nello Stretto di Messina (dati ERS/ENVISAT tra il 1992 e il 2002, orbite discendenti e ascendenti); simulazione della faglia (in grigio, parametri sotto) che spiega il dato osservato; in rosso la faglia del terremoto del 1908.

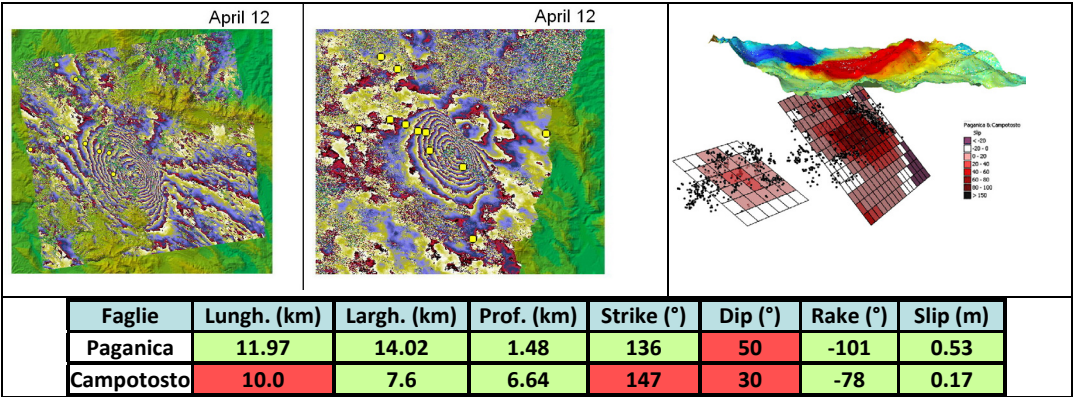


Figura 2 – In alto, da sinistra: Interferogramma co-sismico COSMO-SkyMed del terremoto de L'Aquila, interferogramma co-sismico ENVISAT, modello delle sorgenti sismiche risultante dall'inversione dei due interferogrammi. In basso sono riportati i parametri delle sorgenti modellate.

Riuso del software e project management: i casi ASTRID e SIRA Molise

Valter Sambucini (*), Corrado Iannucci (**), Michele Ricci (***)

(*) ISPRA Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

Via Vitaliano Brancati 48, 00144 Roma, email: valter.sambucini@isprambiente.it

(**) Università di Roma "La Sapienza", Piazza Borghese 9, 00186 Roma, email: corrado.iannucci@uniroma1.it

(***) ARPA Molise, Via Luigi D'Amato 15, 86100 Campobasso, email: pfr_molise@arpamolise.it

Riassunto

Il riuso del software è una componente essenziale della strategia di ISPRA. Nell'ambito di applicazione degli standard SINAnet, ISPRA ha promosso il riuso del software, in collaborazione con tutti gli attori a ciò interessati. Le iniziative attualmente in corso si basano sul progetto ASTRID. L'ARPA Molise ha iniziato lo sviluppo del suo SIRA in riferimento alle matrici ambientali "Aria" e "Acqua" e alla relative descrizione del territorio in termini di OST e di SOG. Va notato che, attualmente, il SIRA Molise è focalizzato sulle funzioni di *reporting* connesse con il suo ruolo di PFR nella rete SINAnet. Nella fase iniziale delle attività progettuali, ARPA Molise ha realizzato una indagine conoscitiva a livello nazionale, per poter disporre di un inventario delle esperienze pregresse e dei componenti software disponibili per il riuso. Questo inventario ha evidenziato come la piattaforma software resa disponibile dal progetto ASTRID presentasse le caratteristiche maggiormente adeguate ai requisiti progettuali.

Essendo una piattaforma, il software ASTRID ha avuto necessità di essere sia calato nella realtà organizzativa del Molise sia esteso funzionalmente dove necessario. A questo scopo, è stato creato un gruppo di lavoro, con la partecipazione di esperti interni ed esterni all'ARPA Molise; inoltre, una collaborazione stabile sull'argomento è stata concordata con ISPRA; infine, un fornitore di servizi professionali informatici è stato selezionato mediante gara pubblica, con un approccio contrattuale (basato su esperienze simili, in particolare a livello europeo) in grado di contemperare le esigenze spesso antagoniste delle regole cui conformarsi negli acquisti pubblici e dell'approccio di project management adottato per la realizzazione del SIRA Molise.

Abstract

The software reuse is a building bloc of the strategy of ISPRA. Within the context of the SINAnet standards, ISPRA has fostered the software reuse, in cooperation with the relevant stakeholders. The current initiatives is built around the project ASTRID. The ARPA Molise has started the development of its SIRA with reference to the matrixes "Air" and "Water" and to the underlying description of the territory in terms of OST and SOG. SIRA Molise is centered on the functionalities requested by the role of PFR in SINAnet. At the very beginning of the activities, the a nation-wide survey has been carried out in order to make an inventory of the existing experiences and of the software components ready for reuse. This inventory has found that the software framework made available by the ASTRID project was able to meet the project requirements. Being a framework, such ASTRID software needed to be localized into the organization of the Molise, as well as to be extended as necessary. Therefore, a working team has been built, including experts from inside and from outside ARPA Molise; a standing cooperation has been agreed with ISPRA; an IT services provider has been selected through a public tender, caring to harmonize the requirements of the public procurement rules and of the project management approach adopted for SIRA Molise.

Introduzione

Spesso, a fronte di esigenze simili le amministrazioni pubbliche hanno realizzato, con proprie risorse, strumenti per la informatizzazione di proprie attività istituzionali e gestionali che già erano stati realizzati da altre pubbliche amministrazioni, con evidente spreco di risorse economiche e ritardi nel processo di informatizzazione delle attività delle P.A.

Da alcuni anni è emersa con forza la volontà di abbandonare questo modo di affrontare l'informatizzazione nelle P.A. e ci si è orientati verso la condivisione ed il riuso del software sviluppato in ambito pubblico. Qui si utilizza il termine "software" nella sua accezione più ampia, che include non solo il codice ma anche le architetture, le norme, la documentazione ecc.

DigitPA, sulla base dei risultati di uno specifico gruppo di lavoro (CNIPA, 2004), ha attivato un centro di competenza dedicato al riuso del software e ha reso disponibili norme di riferimento e linee guida per tale attività (DigitPA, n.d.). L'European Environment Agency prevede sistematicamente che il software sviluppato da fornitori esterni sia riutilizzabile come open source (EEA, n.d.). La predisposizione di una struttura organizzativa a supporto della condivisione del software è menzionata nell'ambito del rapporto INSPIRE predisposto dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM, 2010).

Il riuso del software è una componente essenziale della strategia di ISPRA per la realizzazione di un sistema informativo condiviso, nel contesto definito da SEIS, GMES e INSPIRE. Nell'ambito di applicazione degli standard SINAnet, ISPRA ha promosso il riuso del software, in collaborazione con tutti gli attori a ciò interessati.

Il perseguimento di questi obiettivi ha un impatto significativo sulla conduzione dei progetti software, specificamente in termini di accordi contrattuali e di strutturazione del gruppo di progetto, che comprende personale sia interno alla P.A. committente sia reso disponibile dal fornitore esterno.

Il progetto ASTRID

L'idea di riutilizzare il software si applica in maniera particolarmente forte nell'ambito dei soggetti, come le Agenzie Ambientali, ISPRA, il MATTM e le Amministrazioni Pubbliche Locali (Regioni/PFR, Province, Comuni), che hanno compiti di gestione dell'ambiente e del territorio (autorizzazioni IPPC, VIA, ciclo dei rifiuti, emissioni in atmosfera), per due motivi principali:

- perché devono affrontare compiti assolutamente analoghi
- perché non esiste software di tipo commerciale che sia in grado di soddisfare tutte le esigenze delle Agenzie e del MATTM.

Molti dei soggetti sopra menzionati hanno espresso il comune intento di adottare una politica di condivisione gratuita del software di interesse comune sviluppato da ciascuna amministrazione. In tale contesto, ISPRA e le Agenzie Regionali Ambientali hanno sottoscritto una convenzione che le impegna a condividere le risorse informative singolarmente realizzate con tutti gli altri soggetti del sistema agenziale.

A tale fine, è stato predisposto un progetto nazionale, gestito da ISPRA e coordinato dal MATTM, di Armonizzazione e Standardizzazione delle Risorse Informative Distribuite e condivise (ASTRID) fra i soggetti che hanno competenze istituzionali in campo ambientale.

Un risultato non secondario del progetto ASTRID sarà quello di accelerare la realizzazione di uno strumento di supporto ai decisori delle politiche ambientali e territoriali, ormai divenuto assolutamente indispensabile vista la complessità dei fenomeni cui occorre far fronte con le limitatissime risorse economiche disponibili.

Affinché ciò possa verificarsi occorre innanzitutto che tutti i soggetti con compiti di intervento in campo ambientale e territoriale siano attrezzati con i necessari strumenti conoscitivi. In via assolutamente prioritaria, ad esempio, è necessario che tutte le Regioni e Province Autonome siano attrezzate con strumenti di raccolta, di gestione, di analisi e di pubblicazione e condivisione dei dati di interesse ambientale e territoriale, secondo gli standard concordati a livello nazionale ed europeo.

In sostanza occorre che tutte le Regioni e Province Autonome siano attrezzate con dei Sistemi Informativi Regionali Ambientali (SIRA) con funzioni di Punto Focale Regionale (PFR). Ad oggi questo non accade. Molte Regioni non hanno ancora realizzato i propri SIRA/PFR.

Come noto, i singoli PFR sono responsabili di:

- assicurare la disponibilità (visibilità) dei dati e informazioni ambientali di interesse nazionale, prodotti all'interno del territorio regionale;
- elaborare i dati di interesse ambientale al fine di realizzare prodotti e servizi informativi per il Sistema nazionale;
- garantire il flusso delle informazioni all'interno della rete SINAnet.

Specificamente, per i PFR sono previsti i seguenti compiti:

- predisporre la struttura tecnologica idonea allo svolgimento della funzione di PFR della rete SINAnet;
- adottare procedure operative e di sicurezza per la gestione dei dati di interesse, in conformità con gli standard SINAnet;
- rendere disponibili le informazioni di comune interesse su data base appositamente strutturati e aggiornati secondo le modalità SINAnet; informazioni ottenute a partire dai dati dei Sistemi Informativi Regionali Ambientali e da banche dati di interesse ambientale non comprese nel SIRA;
- laddove necessario, rendere disponibili informazioni ambientali georiferite, a partire dalle basi informative topografiche regionali, coerenti alle specifiche dell'intesa sul sistema cartografico di riferimento;
- sviluppare, nei casi concordati, servizi specialistici per l'APAT, che garantiscano l'accesso e il "travaso" verso data base realizzati a livello centrale;
- attivare servizi informativi (funzionalità di accesso, consultazione e scarico dati) per gli utenti della rete SINAnet, anche attraverso l'allestimento di servizi informativi di tipo geografico.

A fronte di questi rilevanti scopi, il primo strumento che si è voluto acquisire e condividere in ASTRID è stato una piattaforma per la creazione di un SIRA/PFR completo, conforme agli standard nazionali ed europei.

Questo strumento è stato già ceduto da ASTRID, secondo la licenza GPL, al Molise, che ha manifestato il proprio interesse ad acquisirlo gratuitamente e ad utilizzarlo per i propri compiti istituzionali. In futuro, altri soggetti avranno la disponibilità dello stesso strumento, con le estensioni che il Molise vi apporterà.

In tal modo, ciascun altro soggetto potrà non solo utilizzare questa piattaforma software senza costi, ma se necessario modificarla, migliorarla, adattarla alle proprie specifiche esigenze, con l'obbligo però di rimetterla a disposizione degli altri soggetti con le migliorie apportate.

Il progetto SIRA Molise

La Regione Molise e l'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale del Molise (ARPA Molise) hanno perfezionato in data 15 aprile 2009 una convenzione per la realizzazione del Sistema Informativo Regionale Ambientale (SIRA). Il progetto, denominato SIRA Molise, ha lo scopo di conseguire i risultati concordati tra Regione Molise e ISPRA con riferimento alle matrici ambientali "Aria" e "Acqua". Il progetto SIRA Molise, la cui articolazione è descritta in (Molise, 2009), ha lo scopo di rendere disponibile il PFR del Molise nello spazio SINA.

Come sopra ricordato, attraverso il proprio PFR la Regione deve provvedere a rendere disponibili all'interno del SINAnet le informazioni di interesse nazionale e comunitario derivate dai dati delle attività di pianificazione, monitoraggio e controllo svolte sul proprio territorio, sulla base delle *reporting obligations* concordate ai vari livelli istituzionali.

Utenti finali del PFR della Regione Molise sono pertanto tutti i soggetti pubblici e privati, cittadini e imprese che sono interessati ad accedere alle informazioni di interesse ambientale (con finalità sia

conoscitive che decisionali). Tali soggetti sono genericamente definiti *stakeholder*. Per conseguire questo risultato, il patrimonio informativo attinente all'ambiente deve essere riorganizzato, riqualificato e reso disponibile per ulteriori elaborazioni.

Il progetto si sviluppa in relazione a due contesti (tra di loro correlati):

- un contesto principale di tipo organizzativo (attinente cioè al coordinamento della produzione, dell'archiviazione e della diffusione dell'informazione ambientale all'interno degli *stakeholder* di riferimento);
- un contesto strumentale di tipo tecnologico (che deve rendere disponibili gli strumenti informatici hardware e software necessari per automatizzare le funzionalità richieste dal contesto organizzativo).

Con riferimento a quest'ultima componente, si possono individuare le seguenti componenti:

- infrastruttura hardware e TLC;
- software di base e di ambiente;
- software applicativo.

Per le prime due componenti, ARPA Molise presenta una disponibilità di strumenti operativi sufficientemente articolata da non far prevedere evidenti punti di criticità. Tuttavia, tale disponibilità deve essere verificata rispetto alle esigenze poste dal software applicativo. D'altra parte, per questo software esistono varie alternative potenzialmente praticabili; ogni alternativa comporta l'insorgere di esigenze diverse.

Conseguentemente, è stata dedicata molta attenzione alla scelta dell'infrastruttura applicativa del SIRA Molise. La soluzione individuata influenza infatti la successiva determinazione dei requisiti hardware e software connessi con il progetto SIRA Molise. Tali requisiti permettono di approfondire l'accertamento della disponibilità di strumenti operativi, con lo scopo di evidenziare eventuali *gap* da colmare.

Nell'individuare la possibile soluzione per l'infrastruttura applicativa del SIRA Molise, il punto di partenza è dato dalla lista dei requisiti che, a livello macro, tale infrastruttura deve rispettare. L'esame dei documenti progettuali porta ad evidenziare otto macrorequisiti (riportati in Tab. 1), come griglia di valutazione delle possibili soluzioni per il software applicativo.

Tabella 1 – Requisiti progettuali per l'individuazione del software applicativo.

#	Requisito	Descrizione
1	Copertura delle matrici Aria e Acqua	Il software deve disporre delle funzionalità richieste dal progetto SIRA Molise.
2	Scalabilità per includere altre matrici	Il software deve essere configurabile ed estendibile per includere ulteriori matrici ambientali in futuro.
3	Conformità agli standard SINAnet e INSPIRE	Il software deve essere progettato in accordo con i principi e le prescrizioni adottati a livello nazionale ed europeo.
4	Riusabilità nella rete agenziale come open source	Il codice sorgente deve essere accessibile e modificabile; il ricorso a componenti proprietarie deve essere opzionale.
5	Disponibilità nei tempi previsti dal progetto	Il software deve essere disponibile per iniziare l'installazione alla data prevista per il primo S.A.L. (15 ottobre 2009).
6	Affidabilità	Il software deve essere già stato adottato in contesti simili.
7	Manutenzione adattativa ed evolutiva	Deve essere individuabile, su base competitiva, un fornitore di servizi di manutenzione.
8	Formazione e training on-the-job	Deve essere individuabile, su base competitiva, un fornitore di servizi di formazione.

Appare comunque opportuno notare che il macrorequisito #5 (disponibilità del software applicativo entro la data del primo Stato di Avanzamento Lavori) influenza direttamente non solo la scelta della soluzione, ma anche il percorso stesso per giungere a tale scelta.

Infatti, in assenza di tale requisito (ineliminabile se non si vuole stravolgere tutta l'intera articolazione progettuale) il percorso teoricamente corretto avrebbe previsto la scansione delle matrici "Aria" e "Acqua" in funzionalità richieste dal contesto della Regione Molise, principalmente in termini di:

- volumi di dati da scambiare e archiviare;
- profili utente previsti;
- vincoli organizzativi e procedurali.

In realtà, il progetto SIRA è stato configurato con l'assunzione che tale individuazione delle funzionalità, assimilabile in qualche modo ad uno sviluppo secondo il modello *waterfall* (Sommerville, 1996) potesse essere sostituita da un approccio basato sull'adesione agli standard SINAnet (macrorequisito #3).

In tale contesto, individuare una soluzione per il software applicativo si traduce nell'acquisire un sistema già strutturato, sotto l'ipotesi che il rispetto del macrorequisito #5 conduca ad avere una copertura funzionale sufficientemente ampia e aderente agli scopi del SIRA. Ciò significa adottare nella pratica un modello di sviluppo del sistema basato sulla prototipazioni e iterazioni (la soluzione software prescelta costituisce quindi la prima iterazione del prototipo del sistema).

Come noto, se correttamente adottato, lo sviluppo per prototipazioni e iterazioni consente di comprimere i tempi di completamento del sistema globale. Per altro, questo approccio richiede una attenzione specifica a governare correttamente le attività di installazione e personalizzazione, in buona sostanza la manutenzione adattativa ed evolutiva (Basili, Turner, 1975; Larman, 2004; Walton, 2004). L'approccio per prototipazioni e iterazioni è indicato dagli standard EIONET (EIONET, n.d.).

Il progetto SIRA Molise ha effettuato una indagine nel circuito agenziale afferente a SINAnet per delineare un quadro delle esperienze pregresse e dei componenti software disponibili per il riuso. L'analisi di tale quadro ha condotto ad individuare la piattaforma applicativa ASTRID di ISPRA come la soluzione con caratteristiche maggiormente adeguate ai requisiti progettuali, riportati nella Tab. 1.

Tuttavia, deve essere chiaro che adottare la soluzione ISPRA (ma anche una qualunque delle altre) è ben differente dall'acquisire un prodotto software di tipo COTS (*Commercial Off-the-Shelf*): si tratta in ogni caso di una infrastruttura software che va installata e resa compatibile con il contesto operativo della Regione Molise.

Questa scelta, se da un lato ha permesso al progetto SIRA Molise di non dover attendere (in linea con le indicazioni dei documenti progettuali) i tempi necessari per disegnare e realizzare un sistema software partendo da zero, dall'altro lato ha spostato gran parte della complessità progettuale (e anche dei rischi realizzativi) sull'installazione e personalizzazione di questa infrastruttura software.

Conseguentemente, è risultato indispensabile disporre di una organizzazione del progetto in grado di gestire questa complessità. Questa organizzazione è stata strutturata sui seguenti elementi:

- un gruppo di coordinamento;
- un nucleo di funzionari tecnici interni ad ARPA Molise;
- un tavolo tecnico di collaborazione con il progetto ASTRID di ISPRA;
- un fornitore esterno di servizi informatici.

La conduzione del progetto (che deve coinvolgere in varia misura tutti gli *stakeholder* regionali attivi nel settore ambientale) è gestita dal gruppo di coordinamento, la cui composizione risponde ai seguenti requisiti:

- assicurare al committente (la Regione Molise) la piena visibilità delle scelte realizzative e dei risultati conseguiti in corso d'opera;

- disporre delle competenze tecnico-organizzative di gestione di progetti ICT nel settore ambientale;
- curare l'iter amministrativo del progetto, in raccordo con le componenti strutturali di ARPA Molise.

A fronte di questi requisiti, il gruppo di coordinamento comprende un rappresentante dell'Assessorato regionale all'Ambiente, un *project manager* individuato mediante selezione competitiva tra professionisti esterni all'ARPA Molise, un dirigente ARPA Molise responsabile dei processi di automazione dell'Agenzia.

Il nucleo di funzionari tecnici è stato costituito da informatici ed esperti del dominio applicativo. Questo nucleo ha il compito di:

- realizzare lo schema concettuale della base dati delle matrici "Aria" e "Acqua"; in adesione agli standard SINAnet, lo schema è stata esteso alle componenti descrittive del territorio (OST) e alle anagrafi delle persone fisiche e giuridiche (SOG) connesse alle matrici stesse;
- interagire con le varie componenti di ARPA Molise coinvolte nelle procedure di *reporting*, al fine di alimentare la base dati (creata in accordo con lo schema concettuale sopra menzionato) con il patrimonio informativo in possesso di ARPA Molise nonché di individuare gli *stakeholder* esterni da utilizzare come fonti primarie di dati;
- interfacciare le risorse consulenziali acquisite dall'esterno a supporto del processo di installazione e di personalizzazione, in termini di gestione dell'iter di prototipazione e di valutazione tecnico-amministrativa dei prodotti e dei servizi commissionati.

Il tavolo tecnico di collaborazione con il progetto ASTRID di ISPRA è stato impostato come un luogo di discussione dell'avanzamento del SIRA Molise, beneficiando anche della possibilità di condividere le esperienze progettuali con altre ARPA a ciò interessate. La disponibilità di questo tavolo (gestito con grande flessibilità, sulla base di un approccio di *peer-review* che ha eliminato ogni impaccio burocratico) si è rivelata di grande utilità, in particolare per validare le scelte progettuali più innovative, relative ad esempio all'articolazione della base dati e alle modalità di attivazione del fornitore esterno.

Nel contesto sopra delineato (strutturalmente dotato di poca staticità, in conseguenza anche degli sviluppi di ASTRID), le modalità di collaborazione con il fornitore esterno di servizi informatici influenzano direttamente le probabilità di successo del SIRA Molise. Di ciò si è tenuto conto fin dalla stesura del capitolato tecnico utilizzato nella selezione per l'individuazione su base competitiva di questo fornitore esterno.

Nel rispetto puntuale di tutti gli obblighi procedurali richiesti da una selezione effettuata da un ente pubblico, si è deciso di basare il capitolato tecnico non sulla fornitura di servizi predeterminati ma sulla capacità di rendere disponibili gruppi di lavoro (in relazione a obiettivi di dettaglio di volta in volta individuati dall'ARPA) sulla base di prefissati elementi (in termini di costi, di contenuti professionali, di modalità di documentazione, di procedure di controllo). Si è pertanto scelta una forma di contratto-quadro, in cui l'ARPA (tramite il proprio *project manager*) mantiene il controllo delle risorse adeguandone l'utilizzo nel contesto attuale. Nel corso della durata temporale del contratto-quadro, i prodotti da fornire e i servizi da erogare sono definiti nell'ambito di affidamenti separati, fino a concorrenza massima del *budget* disponibile.

Il riferimento anche in questo caso è stata l'esperienza dell'European Environment Agency, che adotta correntemente questa forma contrattuale anche per importi finanziari di un paio di ordini grandezza superiori a quello del caso in esame (si veda ad es. EEA, 2010).

Conclusioni

Condividere software gratuitamente appare essere un percorso semplice ed intuitivo. In realtà, se lo è dal punto di vista teorico, non lo è altrettanto dal punto di vista pratico. Per modificare, migliorare e ampliare le funzionalità di un software occorre infatti prima di tutto conoscerlo bene, per sapere dove e come intervenire. Ma anche il programma più semplice è costituito da migliaia di righe di codice, e acquisire questa conoscenza, nel caso di applicazioni particolarmente complesse come

quelle necessarie ai soggetti che devono gestire ambiente e territorio, richiede, anche ad un programmatore esperto, un impegno di tempo e di lavoro spesso paragonabile a quello necessario per una scrittura ex novo del medesimo programma.

Appare quindi evidente che la semplice disponibilità dei codici sorgenti, anche se ben documentati, di per sé non garantisce affatto dei risparmi economici. I percorsi possibili per mettere mano a tali codici sono almeno tre, e solo uno garantisce, a parere degli scriventi, il risultato voluto.

- I percorso: affidare alla società che ha realizzato la prima versione del software l'incarico di modificarlo, aggiornarlo, personalizzarlo, migliorarlo, adeguarlo a nuove esigenze. Questa soluzione garantisce sostanzialmente una ottimizzazione dei tempi di sviluppo, ma viene a costituire una situazione di *monopolio di fatto* che a lungo andare non consentirebbe affatto i risparmi economici attesi ma potrebbe addirittura far crescere in maniera abnorme detti costi, data l'assenza di una qualunque forma di concorrenza. Questa soluzione non può quindi essere adottata.
- II percorso: affidare le attività di sviluppo, aggiornamento e personalizzazione del software esistente attraverso le normali procedure di gara. Questa soluzione comporta che la società affidataria dell'appalto non sarà, nella maggioranza dei casi, la stessa che ha inizialmente sviluppato il software. Questo significa che la nuova società dovrà dedicare un *notevole impegno iniziale* allo studio e alla interiorizzazione del codice già scritto. Questa attività, molto onerosa in termini di tempo, vanificherebbe gran parte dei risparmi attesi, soprattutto perché si ripeterebbe per ogni soggetto. Neanche questa soluzione, adottata nella realtà fino ad oggi, è adatta a raggiungere l'obiettivo voluto.
- III percorso: costituire una struttura propria che sia dedicata allo studio e all'interiorizzazione del software condiviso, in modo da poterlo modificare o migliorare direttamente o che, in alternativa, ove le risorse tecniche ed umane fossero insufficienti, possa operare come *struttura Capo Progetto* nei confronti di una società esterna cui dovesse essere affidato lo la manutenzione o l'ulteriore sviluppo del software. Nel caso di modifiche realizzate da altri soggetti, questa struttura Capo Progetto potrà verificare e certificare la qualità dei prodotti realizzati, prima di renderli disponibili alla comunità. È questa l'unica soluzione in grado di consentire il desiderato abbattimento dei costi insieme al raggiungimento di una elevata qualità dei risultati.

Considerata la situazione esposta sopra, è possibile capire l'importanza di mettere in funzione una struttura tecnica che si incarichi di far fronte ai compiti descritti al III percorso e di dar vita ad una comunità di utenti/utilizzatori (tipicamente i soggetti del circuito ambientale) che possano esprimere le esigenze comuni ed indirizzare gli sviluppi futuri.

Questo processo consentirà infatti non solo di ridurre drasticamente le spese per l'informatizzazione dei processi istituzionali delle Agenzie Ambientali/Regioni ma anche, cosa ancor più importante, accelerare il processo di realizzazione di software efficiente mettendo a frutto il lavoro svolto già da altre amministrazioni aventi compiti analoghi ed impegnando le ulteriori, proprie risorse tecniche ed economiche ad accrescere la qualità e la funzionalità di applicativi esistenti anziché ripetere il lavoro già fatto da altri.

Per ultimo, ma non irrilevante in campo ambientale, il percorso indicato tende a rendere più efficiente la condivisione delle informazioni tra diversi soggetti operanti nello stesso campo, proprio perché gestite attraverso strumenti che all'origine presentano le necessarie compatibilità, sia tecniche che d'informazione.

Bibliografia

- Basili, V. R., Turner, A. J. (1975), "Iterative enhancement: a practical technique for software development", *IEEE Trans. on Software Engineering*, SE-1(4): 390 – 396
- CNIPA (2004), *Riusabilità del software e delle applicazioni informatiche nella pubblica amministrazione* 39 p., online:
[http://www2.cnipa.gov.it/site/_files/Riusabilit%C3%A0%20del%20SW%20e%20delle%20applicazioni%20informatiche%20nella%20PA%20\(Rapporto%20-%20giugno%202004\).pdf](http://www2.cnipa.gov.it/site/_files/Riusabilit%C3%A0%20del%20SW%20e%20delle%20applicazioni%20informatiche%20nella%20PA%20(Rapporto%20-%20giugno%202004).pdf)
- DigitPA (n.d.), *Riuso del software*, online: <http://www.digitpa.gov.it/principali-attivita%C3%A0/riuso-del-software>
- EEA (n.d.), *General terms & conditions applicable to contracts awarded by the European Environment Agency*, online: <http://www.eionet.europa.eu/software/>
- EEA (2010), "Framework contract(s) for the provision of IT consultancy services for the European Environment Agency (7 lots). Open call for tender No EEA/OSE/10/003". *Supplement to the Official Journal of the European Union*, 2010/S 113-170900, online:
<http://ted.europa.eu/udl?uri=TED:NOTICE:170900-2010:TEXT:EN:HTML>
- EIONET (n.d.), *Software standards of EEA and Eionet*, online:
<http://www.eionet.europa.eu/software/swstandards>
- Larman, C. (2004), *Agile and iterative development: a manager's guide*, Pearson Education Inc., Boston MA, 347 pag.
- MATTM (2010), *Member State Report: Italy*, online:
http://www.minambiente.it/export/sites/default/archivio/allegati/vari/INSPIRE_Country_Report_IT_ALY_2010.pdf
- Molise (2009), *Sistema informativo regionale ambientale con funzioni PFR tematico della Regione Molise in ambito SINAnet – Progetto rimodulato*, allegato alla delibera n. 338 della Giunta Regionale in data 1 aprile 2009
- Sommerville, I. (1996), "Software process models", *ACM Computing Surveys*, 28(1), 269 - 271
- Walton, B. (2004). "Iterative vs. waterfall software development: Why don't companies get it?", *Computerworld*, February 2004, online:
<http://www.computerworld.com/printthis/2004/0.4814.90325.00.html>

Integrazione di sensori di ultima generazione per la determinazione ed analisi del rischio in zone vulnerabili

Carmen Sánchez Murillo, Alfonso Gomez Molina,
Francisco Borrego Piorno, Alessandro Ghetti

KEY WORDS: LiDAR, Infrarosso, Camere Digitali, HDS, Mappe di orientazione del drenaggio

Abstract

A seguito della tempesta tropicale Agatha, l'instabilità geologica nell'area del "Parque Nacional Braulio Carrillo" in Costa Rica, venne fortemente accentuata.

Quest'articolo riassume la metodologia seguita per l'identificazione in tempo record degli effetti della tempesta tropicale su una delle vie di comunicazione più imporanti del paese e che attraversa una altrettanto importante riserva naturale nazionale.

L'inaccessibilità e l'asprezza della zona non permisero di realizzare esaustive osservazioni e rilievi direttamente sul campo e data l'urgenza di effettuare un rilievo sull'area per scongiurare rischi futuri e non causare danni all'area protetta, è stata sviluppata una metodologia alternativa di cattura dei dati necessari, attraverso tecnologie di ultima generazione.

La metodologia sviluppata da STEREOCARTO SL prevede l'integrazione di tre sensori di ultima generazione (LIDAR Aereo, Camera Digitale e HDS) impiegati per identificare punti critici, studiarli in dettaglio e agilizare il processo decisionale. A questo fine, venne realizzato un volo fotogrammetrico con cattura di immagini e LIDAR in modo simultaneo, catturando dati di una gran parte della traccia con un buffer di 1500 metri per ogni lato della stessa e sull'area della riserva naturale. In questo modo, con i prodotti ottenuti a partire dal volo fotogrammetrico, come immagini infrarosse, modelli digitali di elevazione, curve di livello, carte degli assi di drenaggio, carte delle pendenze, assieme all'informazione geologica della zona, vennero identificati vari punti critici lungo la strada. Facendo uso della tecnologia HDS (High Definition Survey), attraverso uno scanner 3D o LIDAR Terrestre, si ottennero tutti i dati necessari per realizzare uno studio con precisione millimetrica di ognuno dei punti considerati critici.

Introduzione

Il Parque Nacional Braulio Carrillo si trova nella Cordigliera Volcanica Centrale, a nord-est della Valle Central; e comprende il Volcán Barva, il Cacho Negro e il Banjo de la Hondura. Quest'area silvestre, congiunta al Parque Nacional Volcán Irazú, il vulcano Turrialba e altre aree protette, costituiscono la seconda Riserva della Biosfera della Costa Rica, che riceve il nome di "Área de Conservación Cordillera Volcánica Central" status concesso dall'Unesco nell'anno 1988.

Il 28 marzo del 1987 è stata inaugurata ufficialmente la Autopista Braulio Carrillo, che unisce San José con Limón, principale porto caraibico della Costa Rica, punto di partenza e di arrivo al Paese per la maggior parte delle merci.

Questa "moderna" strada, attraversa il parco nel settore di "Paso de la Palma" da nord-est a sud-est fino alle distese pianure di Guápiles. Nel luogo, ci si avvale di un centro d'informazione, servizi e sentieri segnalizzati.

Uno degli aspetti più criticati sulla costruzione della suddetta via è il fatto di aver diviso la foresta in due parti ed entrare così in conflitto con le specie orinde.

L'altro aspetto, e più importante, è quello che si descrive nel presente articolo per l'instabilità dei versanti dovuta alle inclinazioni attorno ai 90 gradi, che associato a un clima altamente piovoso e instabile ha fatto sì che questa zona diventi un'area di crolli frequenti.

L'effetto delle piogge torrenziali

La generazione di frane e scivolamenti è stata messa in relazione principalmente con le piogge causate dalle tempeste tropicali. Ci sono una serie di caratteristiche specifiche che possono incidere sulla probabilità di subire gli effetti di uno scorrimento tali come la geometria del profilo critico del versante, le proprietà fisico-meccaniche del terreno o la presenza di acqua.

Il clima della Costa Rica è caratterizzato da una stagione secca, da dicembre ad aprile, e una stagione di piogge, da maggio a novembre.

Lo scorso Maggio del 2010, l'America Centrale si è vista fortemente scossa da un ciclone tropicale all'est dell'Oceano Pacifico. È stata la prima dempesta della stagione che ha avuto origine nella zona di convergenza intertropicale (ZCIT), regione equatoriale dove converge l'umidità tropicale e si sviluppano numerose tempeste elettriche. Prima di diventare depressione, il temporale colpì i Paesi centroamericani con piogge torrenziali e appena toccata terra, l'intensità di una tempesta tropicale causò scorrimenti e innumerevoli straripamenti fluviali, si prese le vite di decine di persone e provocò la distruzione di migliaia di abitazioni e infrastrutture.

Zona di studio inaccessibile

L'area di focalizzazione del nostro studio è ubicata in una delle zone dalla topografia più irregolare della Costa Rica dove il paesaggio è caratterizzato da montagne alte e densamente coperte da boschi. Il parco accoglie diversi vulcani spenti. Il Cacho Negro, molto visibile per la sua forma conica e il Barva con più crateri, la laguna di Barva, rotonda, con un diametro di circa 70 metri e acque chiare e la laguna Danta, di circa 500 metri di diametro.

La vegetazione del parco è quella di un bosco sempreverde di gran densità e complessità floristica. Il bosco presenta variazioni a seconda delle diverse condizioni ambientali, topografia, drenaggio, temperatura, nuvolosità e precipitazioni.

I boschi più alti e di una maggior ricchezza di specie si trovano nelle parti più basse, mentre in quelle più alte e scoscese gli alberi sono più bassi e deformi e il numero complessivo delle specie è minore. La maggior parte del parco è coperto dal bosco primario, in cui esistono circa 6.000 specie di piante che rappresentano la metà del totale delle specie del Paese.

La zona oggetto di studio comprende una parte di questo percorso, la Carretera Nacional Braulio Carrillo, e la sezione studiata viene identificata da LA REPUBLICA e PUENTE RIO SUCIO.

Il cattivo stato di questa strada, la mancanza di segnali verticali, i frequenti crolli e le fuoriuscite d'acqua che possono provocare valanghe, sono soltanto alcuni dei fattori che fanno di questo itinerario una delle strade che più vite strappa ogni anno. Pertanto, l'inaccessibilità e l'asprezza della zona non consentono di fare osservazioni né misurazioni dirette, ed è necessaria un'informazione precisa e immediata per eludere rischi futuri senza danneggiare il Parco Naturale.

Scorrimenti

Gli scorrimenti sono fenomeni molto comuni nei Paesi tropicali con alta densità di zone montane e un regime di precipitazioni forti. Sebbene le dimensioni di uno scorrimento possono non dar luogo a catastrofi, la loro alta frequenza li posiziona come una delle minacce più comuni ed importanti della Costa Rica. Gli scorrimenti e altri effetti legati allo spostamento improvviso della copertura del suolo, sono la causa di gran parte della perdita di vite umane nei grandi disastri naturali, e perciò la loro analisi e mitigazione diventa una delle sfide più grandi per le zone colpite.

È impossibile prevedere la catastrofi o gli effetti climatici d'impatto in ognuna della parti suscettibili agli stessi, tuttavia, con un'analisi delle zone sarebbe possibile identificare quelle a maggior rischio di catastrofe.

Obiettivo

La vulnerabilità è il grado di perdita di un certo elemento o gruppo di elementi a rischio, come risultato dell'accadimento di un fenomeno naturale di una dimensione specifica (Varnes 1984).

La valutazione della vulnerabilità può essere definita come il livello potenziale del danno o della perdita di un elemento dato espresso in una scala dallo 0 all'1:

- $V = V_s \times V_t \times V_l$.
- V_s = Probabilità dell'impatto spaziale dello scorrimento sull'elemento.
- V_t = Probabilità nel tempo (partendo da dove si trovi l'elemento durante l'impatto).
- V_l = Probabilità di perdite umane o proporzione del valore dell'elemento.

Per valutare la vulnerabilità si deve tenere conto del tipo, la prossimità e la distribuzione spaziale dei servizi colpiti o la popolazione, grado di protezione offerta alle persone dalla natura del servizio, scala o dimensione probabile del fallo, grado di prevenzione o allarme, velocità del movimento e risposta al medesimo, come anche la possibilità di effetti collaterali.

Finlay (1997) presenta un esempio di approccio diretto dove i valori di vulnerabilità sono aggiudicati direttamente con riferimento ai dati storici, ma senza tener conto dei diversi componenti che incidono sulla vulnerabilità. Si attribuiscono valori dallo 0 all'1 in base all'esperienza storica sulla gestione di una determinata minaccia.

La suscettibilità agli scorrimenti dipende dalle condizioni topografiche e geologiche di ogni area specifica e dalla conoscenza di altri scorrimenti avvenuti in passato.

Per tal motivo, STEREOCARTO SL ha sviluppato con questo scopo una metodologia propria che consiste nel rilievo topografico di precisione in maniera immediata per mezzo di un volo fotogrammetrico digitale abbinato alla tecnologia Lidar (Aerea + Terrestre) per la generazione di DEM ad alta precisione e Ortofotografia. Partendo dai rilievi ottenuti (come modelli digitali del terreno ad alta risoluzione e precisione, carta vettoriale delle pendenze, carte degli assi di drenaggio, immagini infrarosse) e ritenendo che sono sufficientemente precisi e abbondanti, svolgere ricerche esaurienti e specifiche di analisi del pericolo sui terreni osservati per rivelare possibili vulnerabilità.

Metodologia

Partendo dai dati rilevati durante cinque anni lungo il percorso della via oggetto di studio, si è deciso di svolgerlo su tutta la lunghezza della pista e in particolare sulle cinque aree critiche e più soggette ai fenomeni franosi. Le zone più a rischio di scorrimento di terre entro quest'area si trovano nella zona con maggiori pendenze e nelle pareti dove il terreno è sabbioso o è intercalato con strati di terreno limoso a sabbioso (terreno granulare senza coesione) e sono profondi e con alta pendenza, la quale per via delle lunghe o intense precipitazioni, come anche di forti movimenti sismici, provocano in queste zone degli scorrimenti di terre.

L'inaccessibilità e l'asprezza della zona non consentono di fare osservazioni né misurazioni dirette, ed è necessaria un'informazione precisa e immediata per eludere rischi futuri e senza danneggiare il Parco Naturale.

1. Volo fotogrammetrico digitale abbinato alla tecnologia LiDAR
2. Individuazione e verifica di zone critiche in base alle immagini infrarosse e i modelli digitali del terreno generati partendo dai dati LiDAR e il resto di prodotti ottenuti.
3. Mediante l'uso della tecnologia HDS, per mezzo di uno scanner 3D o Lidar Terrestre, si sono rilevati tutti i dati necessari per eseguire qualsiasi tipo di misurazione con precisione millimetrica di ciascuno dei punti individuati come critici.

Il volo fotogrammetrico si è svolto nel pieno della stagione delle piogge, durante il mese di luglio e per un totale di 5 voli, a un'altezza di 1.200 metri e catturando dati della traccia con un buffer di 1500 metri per ogni lato della stessa e sull'area della riserva naturale.

Gli scorrimenti di terra possono catalogarsi in profondi e superficiali, in base allo spessore dello strato di meteorizzazione coinvolto nel movimento in massa, che è lo strato più direttamente colpito dalla saturazione di acqua, la quale, a sua volta, produce una diminuzione della coesione e una perdita della cementazione tra le particelle di terreno, e altresì un aumento delle pressioni dei pori (Sidle y O'Loughlin, 1985; Suárez, 1998). Tutto ciò fa che le forze destabilizzanti squilibrino il sistema e consentano che una porzione di terra crolli per gravità.

Deve tenersi conto che sia la geologia sia la geomorfologia e i fattori antropici sono molto importanti, tuttavia il nostro studio deve infuocarsi in prima istanza sulla concentrazione della pioggia, come uno degli elementi scatenanti e decisivi per l'avvenimento della maggior parte degli scorrimenti di terra in questa zona. È importante analizzare il buffer maggiore per ambedue i lati della via dove si producono i suddetti scorrimenti, per studiare non solo i punti critici per sé, ma anche la loro origine. La cattura dei dati si è svolta per mezzo di una fotocamera digitale di gran formato DMC de Zeiss/Integraph e un sensore Lidar aereo ALS60 di Leica. Partendo dalle immagini digitali RGB e CIR provenienti dalla fotocamera digitale direttamente orientata assieme al MDT generato con il sensore lidar per mezzo di una classificazione dei dati automatica, si sono ottenute ortofoto, per analizzare in maniera immediata l'area e stabilire i punti critici e determinanti in zona. Si sono analizzati i falli e le fratture in zone con forti pendenze, in particolare in 5 zone ritenute critiche e che coincidevano con i punti ottenuti partendo dai dati rilevati durante i cinque anni precedenti. Stabiliti e consensuati i punti critici con ambedue i dati, è stato eseguito un processamento più preciso e meticoloso dell'informazione, e partendo da esso si sono generate immagini ortorettificate, modelli digitali di elevazione, curve di livello, carte di assi dei drenaggi, carte di orientamento delle pendenze. In modo complementare, è stato svolto un'analisi sul posto con un sistema di alta definizione (HDS) sui punti critici, per analizzare con una miglior risoluzione il comportamento dei declivi e integrare questi dati con i rilievi ottenuti per mezzi aerei.

Conclusioni

Partendo dai prodotti ottenuti (come modelli digitali del terreno ad alta risoluzione e precisione, carte vettoriali delle pendenze, carte degli assi di drenaggio, immagini infrarosse) e considerando la loro precisione e abbondanza, si sono svolti studi esaurienti sui declivi, studi specifici di analisi del rischio sui terreni osservati allo scopo di scoprire altre eventuali vulnerabilità.

- Studio Idrogeologico, per delimitare i sottobacini e, tramite i dati rilevati, segnalare le zone con maggiori probabilità d'infiltrazione.
- Lavoro geologico sul campo per verificare quali sono le unità litologiche coinvolte, i falli, le fratture, gli allineamenti.
- Studio di fratture e allineamenti partendo dalle immagini infrarosse.
- Geofisica e Geotecnica per ottenere i parametri fisici necessari.
- Modelli di stabilità dei declivi.
- Considerare la necessità eventuale di effettuare esplosioni controllate con esplosivi in zona, poiché dai dati rilevati si potrebbero ottenere, tra gli altri, i parametri degli orientamenti preferenziali delle fratture e dei falli.

Il vantaggio principale della metodologia descritta è la possibilità di cartografare in modo immediato zone assolutamente inaccessibili, ad alta risoluzione, in modo omogeneo e in un tempo non paragonabile al richiesto dalla topografia convenzionale.

Bibliografia

- Brabb, E.E. (1984), "Innovative approaches to landslide hazard and risk mapping". In proc., fourth international symposium on landslides, Canadian.
- Leroi, E. (1996) "Landslide hazard – Risk maps at different scales: Objectives, tools and developments". Proceedings of the Seventh International Symposium on landslides. Trondheim.
- SUÁREZ, J. (1998). Deslizamientos y estabilidad de taludes en zonas tropicales. Universidad Industrial de Santander.
- Zezere J. L., Trigo R. M., and Trigo I. F. (2005). "Shallow and deep landslides induced by rainfall in the Lisbon region (Portugal): assessment of relationships with the North Atlantic Oscillation". Natural Hazards and Earth System Sciences, 5, 331–344. SRef-ID: 1684- 9981/nhess/2005-5-331.
- Iverson R.M. (2000), "Landslide triggering by rain infiltration", Water Resources Research, 36(7):1897-1910.

Piattaforma UAV per l'acquisizione ed elaborazione fotogrammetrica di immagini di scavi archeologici e strutture architettoniche

Daniele Sarazzi (*), Lorenzo Mancon (*),
Francesca Julitta (*), Andrea Quartieri (**)

(*) Zenit s.r.l., Busto Arsizio (VA)
(**) Eye-Sky s.r.l., Bologna

Abstract

Nel 2007 Zenit s.r.l. ha introdotto sul mercato italiano l'applicazione di strumenti automatici per la ripresa aerea di prossimità, focalizzandosi in particolare sullo sviluppo di un sistema fotogrammetrico basato su una piattaforma UAV. Il sistema è caratterizzato da un velivolo VTOL-UAV (md4-200/md4-1000) dotato di software di navigazione sviluppato da microdrones GmbH che consente di realizzare con estrema precisione il piano di volo con i relativi scatti al fine di assicurare la copertura fotogrammetrica e di automatizzare tutte le procedure in volo. In questo modo la piattaforma può essere sollevata in volo e procederà autonomamente ad acquisire una copertura stereofotografica dalla quale è possibile estrarre con strumenti software modelli 3D e cartografia di dettaglio.

Questo tipo di fotogrammetria di prossimità applicato al rilievo di scavi archeologici e di strutture architettoniche permette di superare due dei maggiori limiti legati ai metodi tradizionali e al rilievo da stazione laser terrestre: tempi di esecuzione molto lunghi e rappresentazione piana della terza dimensione.

Il rilievo da micro UAV garantisce, infatti, una misurazione precisa di superfici e volumi, la restituzione di un modello 3D e permette di effettuare indagini multitemporali grazie alla ripetibilità dei voli, con identici parametri, in qualsiasi momento.

L'obiettivo del presente lavoro è quello di sviluppare una metodologia al fine di realizzare un Modello Digitale della Superficie (DSM), misurazioni fotogrammetriche e volumetriche e modellazioni 3D delle aree indagate attraverso 3 steps principali:

- pianificazione del volo
- georeferenziazione speditiva
- elaborazione fotogrammetrica

Tale metodologia è stata raffinata nel corso degli anni assommando esperienze, casi di studio e confrontando metodi di ripresa e di restituzione. Nel presente lavoro viene trattata l'applicazione di tale metodologia per il rilievo di due siti archeologici e di una struttura architettonica.

Introduzione

Il presente lavoro di ricerca nasce dall'esigenza di realizzare rappresentazioni 3D degli scavi archeologici e di strutture architettoniche superando i limiti legati all'utilizzo di tecniche tradizionali che richiedono in genere tempi lunghi di acquisizione e rappresentazione piana (tramite isopse) della terza dimensione con grave perdita di informazioni.

L'introduzione del laser scanner circa una decina di anni fa ha risolto solo parzialmente il problema, ma permangono i problemi relativi ai tempi lunghi di scansione e alle occlusioni. Pertanto il campo di applicazione di questa tecnica è limitato a contesti piuttosto elementari e soprattutto in cui non è richiesta una standardizzazione del processo.

Un ulteriore motivo che rende interessante l'utilizzo di questo tipo di piattaforma nell'ambito dei rilievi archeologici è dato dalla possibilità di effettuare indagini multitemporali, il volo, infatti, è ripetibile, con identici parametri, in qualsiasi momento.

Pertanto Zenit srl sta sviluppando una metodologia di automazione di ripresa aerea di prossimità, di acquisizione immagini ed elaborazione fotogrammetrica attraverso la piattaforma UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*).

La metodologia in seguito descritta è frutto di sperimentazioni condotte in diversi siti archeologici dal 2007 ad oggi (Pieve di San Pietro in Pava (SI), Parco di Veio (RM), San Piero ad Axo (SI) rispettivamente nel 2007/2008, 2009 e 2010) perfezionata di volta in volta grazie anche all'introduzione di significativi avanzamenti tecnologici che hanno permesso di ottenere risultati sempre più soddisfacenti in tempi sempre più ridotti.

Materiali e metodi

Il sistema di rilievo utilizzato MD4-200 è un UAV della classe VTOL (*Vertical Take-off and Landing*), un elicottero quadrirotore senza pilota a bordo, radiocomandato, in grado di seguire automaticamente una rotta pianificata a priori; solo nelle fasi di decollo e atterraggio può essere necessario l'intervento di un operatore a terra attraverso un sistema di teleoperazione, inoltre decolla e atterra verticalmente da qualsiasi tipo di superficie slegandosi totalmente dalla necessità di avio superfici preparate allo scopo.

La struttura è in fibra di carbonio *water-protected*, che conferisce all'apparecchio robustezza e leggerezza, il peso complessivo è di 900 grammi, diametro inferiore a 1 metro, massima capacità di carico di 200 grammi. La propulsione è affidata a 4 motori elettrici *brushless* senza ingranaggi, il velivolo pertanto è estremamente silenzioso (<63dBa a distanza di 3m). Il sistema è alimentato da batterie Litio-polimero da 14,8 V e 2300 mAh che consentono un'autonomia di volo di circa 20 minuti c/a in condizioni standard.

Il drone è dotato di un ricevitore gps, di un magnetometro, accelerometri e giroscopi, l'integrazione di tutti questi sottosistemi consente di eseguire automaticamente un piano di volo pre-programmato su base cartografica, o se richiesto di mantenere precisamente la propria posizione. Il sistema di posizionamento GPS e i sensori di volo consentono inoltre di contrastare l'azione del vento in assenza di comandi da parte dell'operatore, migliorandone la stabilità.

Per quanto concerne le performance operative il drone ha sviluppo massimo della rotta di 2 km ad una quota massima di 500 m; le velocità sono comprese tra 0,1 – 5 m/s per la traslazione rettilinea orizzontale, 0,1 – 3 m/s per quella verticale, 10 – 90 deg/s per la rotazione intorno al proprio asse.

I *payloads* utilizzati nei casi di studio sono: una fotocamera Pentax Optio A40 a 12 megapixel calibrata per l'utilizzo aereo fotogrammetrico (4000 x 3000 pixel) con stabilizzazione dell'immagine e controllo dello scatto I/R. Tutti gli apparati di ripresa sono montati sul drone MD4-200 con un castello in fibra di carbonio dotato di un asse servo-assistito e controllabile da radiocomando con 100° di movimento di tilt, ciò rende possibili sia riprese nadirali che frontali.

Il sistema si completa con un datalink a 2.4 GHz che in tempo reale restituisce a terra, ad una GCS (*Ground Control Station*), l'inquadratura dei sistemi di ripresa e le telemetrie di volo per un costante monitoraggio del rilievo in corso.

CARATTERISTICHE TECNICHE md4-200	
Peso a vuoto	585 g
Carico massimo	200 g
Peso al decollo	1000 g
Diametro in assetto di volo	100 cm
Alimentazione	LiPo 2300mAh
Eliche	Peso 8 g rotazione 1800/2100 rpm
Autonomia	20 min
Distanza operativa	500 – 2000 m
Sviluppo massimo della rotta	2 km
Umidità	< 80%
Temperatura	0 – 40 ° C
Velocità del vento	4 m/s (per immagini di qualità)
Altitudine da terra	< 150 m
Quota massima di decollo	< 3000 m slm
Velocità di salita	2,5 m/s
Velocità di discesa	1,5 m/s
Velocità massima di traslazione	5 m/s
Velocità massima di rotazione	90 deg/s

Tabella 1 – Tabella riassuntiva delle caratteristiche tecniche del microdrones md4-200.

La metodologia prevede come prima fase l'**identificazione dell'area** di studio, presupposto necessario alla fase di pianificazione del volo, da eseguire su base cartografica, in ambiente GIS.

Innanzitutto si delimitano i confini del sito e si determina l'estensione da rilevare, si caratterizza l'area di indagine nel modo più completo per poter procedere alla fase di pianificazione del volo: studio morfologico del terreno, copertura vegetale, presenza di eventuali ostacoli naturali o strutture antropiche che potrebbero interferire con il volo, scarti in quota ed ogni altra particolarità. Inoltre, tutte le informazioni altimetriche, a qualsiasi risoluzione vengono computate a generare un DEM dell'area.

La fase di **“Pianificazione del volo automatico”** viene anch'essa eseguita su base cartografica in ambiente GIS attraverso un software di pianificazione del volo (appositamente sviluppato) che richiede come dati in ingresso: dimensione e forma dell'area di indagine (nel formato di *shapefiles*), del *Ground Sample Distance* richiesto e dei parametri della fotocamera montata sul drone e relativi settaggi. A partire, quindi, dalla scala finale dell'immagine che si vuole ottenere e dalla distanza focale della camera viene derivata la quota di volo. A seconda del tipo di utilizzo che si intende fare delle immagini acquisite si impostano i valori di *Overlap* e *Sidelap*. Il software restituisce come output il numero e l'orientamento ottimale delle strisciate e dei *waypoints* che il drone deve percorrere per coprire completamente l'area indagata con il minor numero di immagini. L'output è uno script di volo caricato sul drone ed eseguito in completa autonomia, per garantire la massima precisione di posizionamento.

Il volo segue una serie di waypoints in corrispondenza dei quali ha luogo una serie di eventi programmati: semplice transito, stazionamento, variazione di quota e azimuth, osservazione di un

punto fisso in rotta circolare, scatto, regolazione dello zoom e dell'assetto della camera.

Il ricevitore gps, il magnetometro e gli accelerometri, situati nella calotta, permettono al drone di eseguire automaticamente il piano di volo pre-impostato e di mantenere la propria posizione, contrastando l'azione del vento in assenza di comandi da parte dell'operatore, migliorando la stabilità dell'apparecchio e la qualità delle riprese.

La pianificazione del volo automatico presenta una serie di vantaggi:

- ottimizzare il numero di scatti per coprire integralmente l'area, in funzione di overlap e sidelap (sovrapposizione tra fotogrammi e tra strisciate)
- minimizzare i tempi di intervento e programmare con precisione riprese complesse
- effettuare riprese zenitali e oblique, su superficie piana, su pendio e in rotta circolare intorno a un obiettivo fisso (edificio, campanile, ciminiera, ecc.)
- mantenere costante la footprint anche in condizioni di acclività (riprese su pendio)
- effettuare indagini multitemporali.
- è possibile sostituire immediatamente immagini di qualità non ottimale (a causa, ad esempio, dell'intrusione imprevista di altri soggetti, di variazioni improvvise di luce, ecc.)
- eseguire un volo più preciso di quello manuale, in caso di condizioni meteo sfavorevoli, in particolare con presenza di vento di una certa intensità.

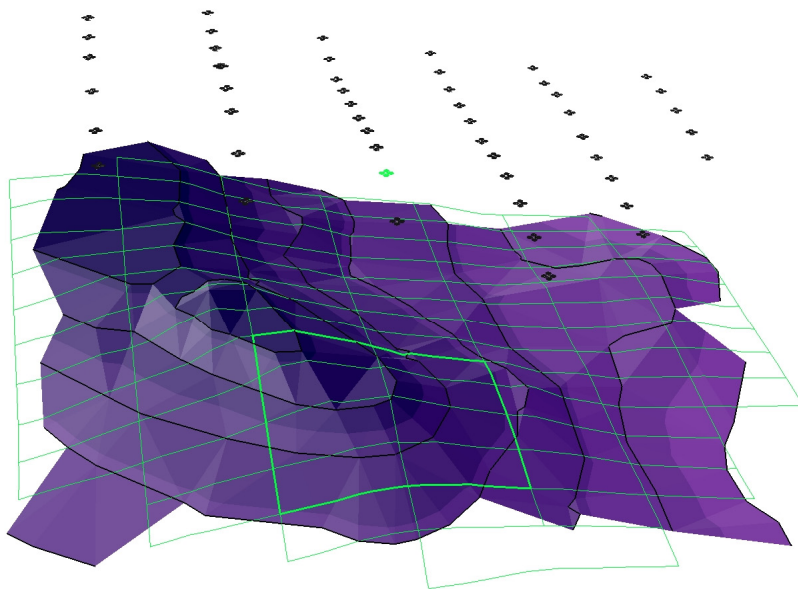


Figura 1 – Stazioni di scatto e copertura dei fotogrammi proiettata du DTM.

Successivamente si procede con **la fase di posizionamento e rilevamento di punti di controllo (GCP).**

A questo punto si è passa alla **fase di presa** con acquisizione dei fotogrammi durante l'esecuzione del volo.

Nella tabella sottostante sono riportati alcuni dati relativi al rilevamento per i diversi siti considerati.

SITO	PAVA	VEIO I	VEIO II	MONTALCINO
Anno rilievo	2007/2008	2010	2010	2010
Mese rilievo	Luglio Luglio/Agosto	- Aprile	Aprile	Luglio
Durata rilievo	5 gg	4 gg	2 gg	2 gg
Orario di volo	7.00–8.00 am	7.00–8.00 am	7.00 – 8.00 am	7.00 – 12.00 am
Quota di volo	25m	40m	40m	100m
n° immagini	112	35	5	58
n°GCP	175	7	4	15
Superficie	55 x 52 m	38 x 30 m	27 x 9 m	250 x 350 m

Tabella 2 – Tabella riassuntiva dei casi diversi considerati.

Per ottenere la migliore qualità delle immagini acquisite è consigliabile eseguire il volo cercando di minimizzare i potenziali fattori di disturbo, quali: vento, termiche, ombre, presenza di persone e attrezzature nello scavo.

Al termine del volo è sempre possibile scaricare le immagini dal drone al PC e verificare le telemetrie che contengono le informazioni essenziali di assetto dell' UAV al momento dello scatto. Il software di gestione consente l'immediato trattamento delle informazioni raccolte e le immagini entrano immediatamente in un GIS.

E' possibile effettuare una **Georeferenziazione speditiva** delle immagini acquisite con accuratezza sufficiente ad avere una mappatura ed una contestualizzazione visiva delle entità dello scavo rappresentate in ambiente GIS.

Una volta acquisite le immagini di qualità e scala adeguate all'obiettivo preposto, è possibile trattarle con **elaborazioni fotogrammetriche** mediante procedura semi-automatica, per estrarre ortofoto, modelli digitali del terreno, modelli 3D, temi vettoriali, etc., di diverso dettaglio.

Il software utilizzato per effettuare questo tipo di elaborazione è Photomodeler Scanner, che normalmente è utilizzato per modellizzare oggetti di dimensioni più contenute e che permette di estrarre nuvole di punti a partire da blocchi fotogrammetrici ottenuti attraverso il riconoscimento di punti di legame tra le immagini.

Nell'ambito del presente lavoro i punti di legami sono posizionati manualmente da operatore esperto su più foto con la precisione del pixel. A seconda della complessità morfologica dell'area di studio e del contrasto di colore, varia il numero di punti da assegnare per assicurare una buona precisione; ciò ha permesso di assicurare un'elevata precisione del prodotto finale. Tuttavia sono in corso sperimentazioni per automatizzare il più possibile l'identificazione dei punti su base geometrica e spettrale al fine di velocizzare l'elaborazione a parità di risultato.

Successivamente il software orienta i blocchi fotogrammetrici con procedura automatica e si può procedere con la georeferenziazione ed ortorettifica.

Prima di procedere con l'estrazione delle nuvole di punti le immagini vengono trattate al fine di incrementare la qualità del risultato attraverso "idealizzazione" e quindi rimozione delle distorsioni dovute alla lente della fotocamera e all'eccentricità del sensore rispetto all'asse della lente e definizione delle "aree di Trim", ossia ritaglio del fotogramma in modo da escludere le porzioni non calibrate.

Una volta estratte le nuvole di punti (Point Mesh) rappresentanti l'andamento della superficie tramite griglia a passo regolare (variabile a seconda del dettaglio che si vuole ottenere), si è reso necessario implementare una procedura che permettesse di trattare elevate densità di punti e mantenere alta la precisione.

Pertanto è stata sviluppata un'applicazione in Arcgis che permette di importare le Mesh in ambiente GIS da Photomodeler. Le singole nuvole di punti vengono sommate per ottenere un'unica nuvola totale con passo regolare stabilito dall'operatore. Questo avviene mediante l'applicazione di un tipo di interpolazione scelto sulla base delle caratteristiche della superficie indagata, a seconda dell'omogeneità della superficie in termini di copertura vegetale e di uso del suolo (presenza o meno di manufatti).

Il passaggio successivo è quello di creare un DSM (Digital Surface Model) 2D ½ e di renderlo disponibile per ulteriori elaborazioni come elemento raster georeferenziato in ambiente GIS; la semplice estrazione dell'ombreggiatura orografica permette di apprezzare il dettaglio della modellazione 2D ½.

Nel caso in cui si voglia estrarre un'ortofoto è possibile esportare la *Point Mesh* totale in Photomodeler Scanner e, a seguito di alcune elaborazioni, esportarla come file immagine.

L'ortofoto può essere importata in ambiente GIS, georeferenziata e sovrapposta al modello 2D ½. Questo procedimento permette di avere come risultato un dato riscontrabile sia in ambiente cartografico che nell'ambito della pianificazione tridimensionale dei voli.

SPECIFICHE CAMERA				
SITO	PAVA	VEIO I	VEIO II	MONTALCINO
Modello fotocamera	Pentax Optio A40	Pentax Optio A40	Pentax Optio A40	Pentax Optio A40
Risoluzione	7Mp (3072x2304)	12Mp (4000x3000)	12Mp (4000x3000)	12Mp (4000x3000)
Distanza Focale	7.9 mm	7.9 mm	7.9 mm	7.9 mm
tipologia sensore	1/1.7"(7.600mm, 5,700mm)	1/1.7"(7.600mm, 5,700mm)	1/1.7"(7.600mm, 5,700mm)	1/1.7"(7.600mm, 5,700mm)
Dimensione pixel	1,9 micron	1,9 micron	1,9 micron	1,9 micron
Livello di zoom	1 X	1 X	1 X	1 X

Tabella 3 – Tabella riassuntiva delle caratteristiche della fotocamera impiegata nei rilievi.

Risultati

RISULTATI				
SITO	PAVA	VEIO I	VEIO II	MONTALCINO
N° Mesh	40	16	4	47
Total Points Mesh	42000	20000	70000	480000
Pixel size	30 mm	20 mm	20 mm	75 mm
Root Mean Square	0,429	0,538	0,355	0,585

Tabella 4 – Tabella riassuntiva dei risultati ottenuti

Al termine del processo fotogrammetrico, a partire dalla nuvola di punti georeferenziati e quotati, attraverso tecniche di modellazione spaziale si sono estratti i modelli di rappresentazione 2D e ½ in ambiente GIS assegnando ad ogni punto a terra una quota mediante rappresentazione raster (ESRI GRID) e applicando la componente ombreggiatura come illustrato nella figura sottostante.

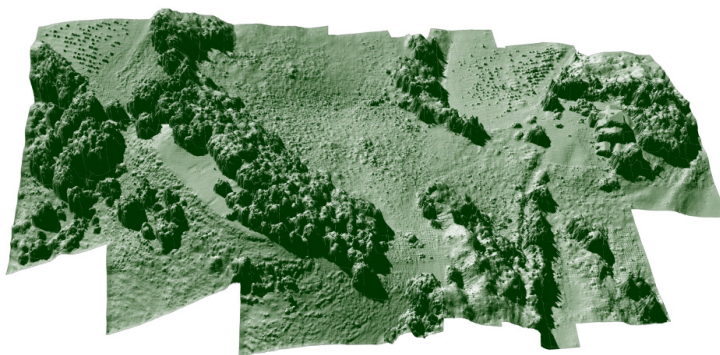


Figura 2 – Modello 2D $\frac{1}{2}$ relativo al sito archeologico di S. Piero ad Axo.

L'immagine seguente illustra il modello 2D e $\frac{1}{2}$ a passo 3 cm relativo al sito archeologico di Pava (SI) rappresentante una superficie di 55 x 52 m con uno scarto quadratico medio pari a 0,429. Tale modello è stato ottenuto a partire dall'estrazione di 40 Mesh (a passo 3 cm), da cui sono stati estratti 8 milioni e mezzo di punti quotati sull'intera superficie per un numero di 112 immagini di partenza acquisite alla quota di 25 m.

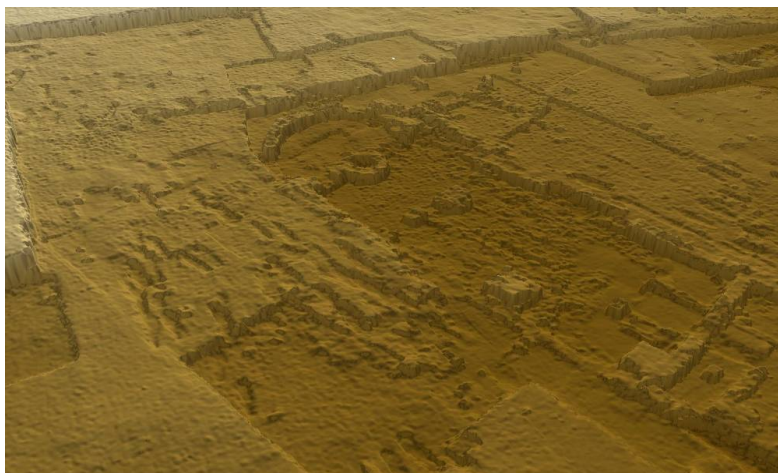


Figura 3 – Modello 2D $\frac{1}{2}$ relativo al sito archeologico di Pava.

Il terzo caso di studio, che riguarda il Parco di Veio nei pressi di Roma (Italia), ha portato alla produzione di due modelli 2D e $\frac{1}{2}$ e successivamente di due ortofoto rappresentanti due porzioni del sito di diversa dimensione, che pertanto sono stati elaborati in modo differente e hanno portato a risultati diversi data la differente scala di rappresentazione.

La porzione maggiore del sito occupa una superficie di 38 x 30 m che è stata ripresa da una quota pari a 40m con una copertura di 35 immagini. Sono stati estratti 5,5 milioni di punti quotati a partire da un totale di 16 Mesh per arrivare all'estrazione del modello finale a passo 2 cm. In questo caso lo scarto quadratico medio è di 0,538.



Figura 4 – Ortofoto estratta dal modello dell'area archeologica di Veio (area grande).

La porzione minore del sito occupa, invece, una superficie di soli 27x9 m ed è stata ripresa dalla medesima quota (40 m) con 5 immagini. E' stato elaborato il modello 2D e 1/2 a passo 2 cm a partire da 4 Mesh per un totale di 2,1 milioni di punti quotati e con uno scarto quadratico medio di 0,355 (ossia il valore in assoluto più basso tra i vari casi di studio considerati) ed è stata estratta l'ortofoto a passo 1 cm.



Figura 5 – Modello con applicata l'ortofoto relativo al sito archeologico di Veio, area piccola.

Attualmente si sta lavorando alla ricostruzione fotogrammetrica acquisendo immagini tramite UAV di strutture a sviluppo verticale come palazzi, torri, altri tipi di edifici o sculture che richiedano una vista “dall'alto” per poter avere una vista completa del manufatto.

Il progetto attualmente in lavorazione è la ricostruzione fotogrammetrica della torre di palazzo

d'Accursio a Bologna utilizzando gli strumenti citati per i casi precedenti, ma con diverso approccio allo schema di volo, questa volta a sviluppo verticale vista l'entità del soggetto da fotografare. Essendo ancora in fase di lavorazione non è possibile fornire dati precisi sulle precisioni ottenute dal modello, ma si può ipotizzare che l'errore massimo ottenuto sul modello finale sarà di circa 2cm.



Figura 6 – Nuvole di punti estratte per la torre di palazzo D'Accursio.

Discussione - Conclusioni

Dal 2007 sono stati eseguiti diversi rilievi fotogrammetrici su diversi siti archeologici al fine di restituire immagini e modelli tridimensionali utili alle indagini archeologiche. I rilievi sono stati eseguiti utilizzando una piattaforma UAV, cioè un mezzo senza equipaggio controllato da remoto in grado di acquisire immagini autonomamente (Eisenbeiss, 2008). Equipaggiando l'UAV con una fotocamera di piccole o medie dimensioni è possibile considerarlo a tutti gli effetti uno strumento per eseguire rilievi fotogrammetrici da corta o media distanza, in grado di fornire risultati rapidamente apprezzabili contenendo costi e una valida alternativa ai classici strumenti di misurazione utilizzati nell'archeologia.

Nei casi sopra descritti è stata utilizzata una delle piattaforme prodotte da Microdrones, il quadricottero Md4-200, che è in grado di raggiungere aree difficilmente accessibili, di effettuare voli preimpostati in modo autonomo e preciso, di ripetere lo stesso volo più volte a distanza di giorni, e di fornire immagini e telemetrie in tempo reale trasmettendole alla base-station a terra oltre ad essere facile da utilizzare anche da un solo operatore e facilmente trasportabile.

Per quanto riguarda il rilievo fotogrammetrico ed il modello tridimensionale ricavato dalle immagini si può affermare che il livello di dettaglio è elevato e adatto al rilievo di vaste aree di scavo. Il punto di forza nell'impiego dell'UAV è la velocità nella copertura fotogrammetrica di vaste aree, ripetibile giorno per giorno, ottenendo uno storico dei progressi dello scavo con modelli tridimensionali a medesima scala e quindi perfettamente confrontabili mantenendo i costi contenuti. Affiancando il drone alle metodologie classiche di rilievo archeologico come il laser scanner ed accorpando i dati ottenuti con le due tecniche in un unico progetto è possibile ricavare modelli tridimensionali completi, accurati e dettagliati.

In conclusione a partire dai primi rilievi ed elaborazioni del 2007 la qualità dei risultati è migliorata

grazie a sviluppi da un punto di vista tecnologico, determinati soprattutto da una migliore stabilità del drone durante le riprese, e sotto il profilo metodologico grazie all'ottimizzazione della pianificazione del volo. Attualmente risulta notevolmente migliorata la qualità e l'efficacia dei risultati in termini di dettaglio e ottimizzati i tempi e conseguentemente i costi delle operazioni di rilievo.

Riferimenti Bibliografici

- Barazzetti L., Roncella R., Forlani G., Remondino F., Scaioni M., *Orientamento automatico di blocchi fotogrammetrici in ambito close-range: stato dell'arte e prospettive della ricerca*; Geomatica, le radici del futuro. Tributo a Sergio Dequal e Riccardo Galetto, 10-11 Febbraio, Pavia.
- Campana S., Francovich R. 2005. *Seeing the Unseen. Buried Archaeological Landscapes in Tuscany*, Taylor & Francis, The Netherlands, pp.67-76.
- Colomina I., Blázquez M., Molina P., Parés M.E., Wis M., 2008. *Towards a new paradigm for high-resolution low-cost photogrammetry and remote sensing*, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B1. Beijing 2008, pp 1201-1206.
- Eisenbeiss, H., 2008. *UAV photogrammetry in plant sciences and geology*, in 6th ARIDA Workshop on "Innovations in 3D Measurement, Modeling and Visualization", Povo (Trento), Italy.
- Eisenbeiss H., Lambers K., Sauerbier M., Li Z., 2005. *Photogrammetric documentation of an archaeological site (Palpa, Peru) using an autonomous model helicopter*, in CIPA 2005 XX International Symposium, Torino, Italy.
- Püschel H., Sauerbier M., Eisenbeiss H., 2008. *A 3D model of castle Landenberg (CH) from combined photogrammetric processing of terrestrial and UAV-based images*. ETH Zurich (Swiss Federal Institute of Technology), Institute of Geodesy and Photogrammetry
- Schiaparelli, L. 1929-1933, *Codice Diplomatico Longobardo*, Roma.

Ringraziamenti

Si ringraziano il Dipartimento di Archeologia e Storia delle Arti di Siena con cui Zenit collabora dal 2007 sui rilievi nei siti archeologici.

L'idrocarburo sulla superficie marina: caratteristiche qualitative e quantitative deducibili dall'osservazione ed impiegabili in ambito forense

Fabio Sarti (*), Marco Gonnelli (**), Giovanni Spaccavento (***)

(*) Accademia Navale M.M. di Livorno, Direzione Studi, Dipartimento Capitanerie di Porto
Viale Italia 72, 57127 Livorno, Tel. 0586.238663, fabio-sarti@marina.difesa.it

(**) Accademia Navale M.M. di Livorno, Direzione Studi, Dipartimento Capitanerie di Porto
Viale Italia 72, 57127 Livorno, Tel. 0586.238765, marco.gonnelli@marina.difesa.it

(***) Accademia Navale M.M. di Livorno, Direzione Studi, Dipartimento Capitanerie di Porto
Viale Italia 72, 57127 Livorno, Tel. 0586.238765, giovanni-spaccavento@marina.difesa.it

Riassunto

Evoluzione delle metodologie disponibili per la stima di caratteristiche qualitative e quantitative delle masse di idrocarburi sversate in mare. Deduzione dei volumi sversati a partire dalla correlazione esistente tra aspetto dell'area ricoperta dall'idrocarburo e spessore del film con particolare riferimento al Bonn Agreement Colour Code e al Bonn Agreement Oil Appearance Code. Introduzione alle tecniche di remote sensing finalizzate alla stima quantitativa: fondamenti scientifici ed applicazioni (CleanSeaNet, PRIMI). Valorizzazione dei dati in ambito operativo, forense ed eventualmente sanzionatorio: il caso della M/N "Humboldt Bay".

Abstract

Oil slick qualitative and quantitative characterization methodologies evolution. Spilled volume inference on coated film thickness and area appearance relation basis. The Bonn Agreement Colour Code and the Bonn Agreement Oil Appearance Code. Introduction to remote sensing techniques aimed at quantitative assessment: science and applications (CleanSeaNet, PRIMI). Operational and forensic data utilization: the "Humboldt Bay" case.

Premessa

Per secoli l'interesse degli Stati per l'ambiente marino si è manifestato nello sfruttamento indiscriminato e senza specifica regolamentazione del mare e delle sue risorse, in quanto utili per le economie nazionali. È stato solo alla fine del XIX secolo che un uso intensivo delle acque e delle sue risorse, la comparsa di nuove tecnologie, l'intensificarsi dei trasporti di sostanze particolarmente pericolose, hanno fatto nascere le prime preoccupazioni circa la tutela dell'ambiente.

Le molteplici utilizzazioni del mare e delle sue risorse, spesso in contrapposizione fra loro, imponevano dunque una regolamentazione internazionale dei rapporti tra gli Stati e i loro diversi interessi, tanto più che all'inizio degli anni '70 gli incidenti causati dalle petroliere Torrey Canyon e Amoco Cadiz e il clamore suscitato dai danni ambientali che ne derivarono, fecero temere seriamente per l'equilibrio ecologico, facendo emergere drammaticamente il problema della conservazione dell'ecosistema.

Finalmente si giunse alla consapevolezza che le sostanze pericolose alla deriva non conoscono confini nazionali e che pertanto bisognava dotarsi di uno strumento normativo che prevedesse, in caso di inquinamento, la mutua cooperazione tra stati finalizzata alla gestione strategico – operativa dell'emergenza.

L'accordo, meglio noto come "Bonn Agreement" fu sottoscritto nel 1969 da Belgio, Danimarca,

Francia, Germania, Paesi Bassi, Norvegia, Svezia, Gran Bretagna. Nel 1983 aderì la Comunità europea e nel 1987 sottoscrisse l'accordo anche l'Irlanda del Nord.

Le convenzioni internazionali, universali e regionali espresse in questo periodo, rispecchiano pertanto l'evoluzione dei tempi e delle opinioni; in altri termini denotano l'accresciuta attenzione della comunità internazionale alla tutela del mare e dell'ambiente nel suo complesso quale segno tangibile del passaggio da un iniziale approccio utilitaristico delle risorse marine ad una più matura concezione del patrimonio ambientale quale bene comune dell'umanità.

Sotto il profilo scientifico con l'espressione "inquinamento" si definisce l'alterazione in senso peggiorativo della qualità dell'acqua e del fondo marino rispetto alla composizione naturale ad opera di sostanze liquide o solide estranee. Ci si trova, dunque, di fronte ad un problema di non facile soluzione che impone scelte di natura politico-sociale: da un lato si avverte infatti la necessità di difendere l'ambiente e la salute, dall'altro sussiste l'esigenza di progredire verso il raggiungimento del massimo sviluppo tecnologico.

L'opportunità, dunque, di tutelare l'ecosistema marino, oggetto di un interesse collettivo, senza alcuna distinzione di zone e confini geografici, pone in evidenza l'insufficienza di misure unilaterali adottate dai singoli Stati che, necessariamente limitate agli spazi di mare sottoposti al governo di questi ultimi, non possono essere concretamente efficaci.

Si instaura così un diritto internazionale che può definirsi "dell'interdipendenza" la cui caratteristica principale è costituita dai poteri di gestione da parte della Comunità internazionale considerata nel suo complesso.

Questo nuovo indirizzo è stato inaugurato dalla dichiarazione scaturita dalla Conferenza delle Nazioni Unite sull'ambiente svoltasi a Stoccolma nel giugno del 1972 che, quale atto sovranazionale, consente di inserire in un quadro unitario principi e programmi costituenti l'ossatura del concetto di sviluppo sostenibile.

A livello generale l'IMO (*International Maritime Organisation*), agenzia delle Nazioni Unite specializzata nel campo marittimo è, insieme al *Comité Maritime International*, l'ente che ha avuto il merito di aver promosso norme pattizie internazionali tese a scongiurare o a tentare di arginare i pericoli dell'inquinamento.

Particolarmente rilevante è stato il ruolo di questo ente nella organizzazione delle Convenzioni riguardanti specificatamente l'inquinamento marino da idrocarburi: Convenzione di Londra del maggio del 1954 (OILPOL) e di novembre del 1973, parzialmente modificata nel 1978 "per la prevenzione dell'inquinamento da navi" (MARPOL).

Strettamente correlata alla MARPOL è la convenzione SOLAS del 1974 che fissa gli standard di sicurezza delle navi e la TSPP del 1978 sui criteri di arruolamento e i requisiti del personale di bordo.

L'altro pilastro internazionale nella lotta all'inquinamento da idrocarburi è la Convenzione sulla preparazione, lotta e cooperazione in materia di inquinamento da idrocarburi, OPRC conclusa nel 1990 ed entrata in vigore nel 1995 e così a seguire sino ai giorni nostri.

Tale normativa internazionale è stata affiancata, dalla legislazione comunitaria, in primis con il cosiddetto "Pacchetto Erika" e a seguire, nel 2000, con la normativa supplementare "Erika II", sino alle più recenti Dir. 2008/99/Ce e 2009/123/Ce. Il regime normativo interno in tema di responsabilità e risarcimento dei danni da inquinamento marino, oltre che dalle norme di esecuzione delle Convenzioni C.L.C. 1969, Fund 1971 e 1992 e di attuazione delle stesse (D.P.R. 27 maggio 1978 n. 504 e Legge 27 maggio 1999 n.177), è costituito essenzialmente dalla Legge 31 dicembre 1982 n. 979 "Disposizioni sulla difesa del mare", così come innovata dal D.lgs 6 novembre 2007 n. 202 (G.U. 261 del 9.11.2007), e dalla successiva Legge 8 luglio 1986 n. 349 concernente l'istituzione del Ministero dell'Ambiente e norme in materia di danno ambientale, cui hanno fatto seguito, per quanto richiamabile in materia di inquinamento marino, dal D.Lgs. 152/2006, recentemente innovato con D.Lgs. 205/2010 (T.U. Ambientale). Ad esse fanno da corollario una serie di leggi settoriali per la tutela delle acque dall'inquinamento, la gestione dei traffici e così via. Al di là della stratificazione normativa e della innegabile conseguente difficoltà di coordinamento

tra fonti legislative, la produzione comunitaria e, ciò che più conta, quella nazionale hanno determinato il passaggio sostanziale dalla mera enunciazione di principi regolamentari, informatori del diritto, alla definizione di un diritto prescrittivo, di concreta attuazione.

La normativa italiana ha consentito, seppur in maniera perfettibile, l'introduzione di specifiche fattispecie di illecito ambientale (siano esse foriere di responsabilità prettamente penale, amministrativa e/o civile – aquiliana) con conseguente applicazione di misure sanzionatorie.

Affinché tale normativa interna possa trovare concreta applicazione e svolgere quel compito di tutela del patrimonio comune da ogni fenomeno perturbativo che la stessa legislazione internazionale le assegna, le previsioni giuridiche devono inserirsi e coordinarsi con i principi ordinatori e le prescrizioni del diritto sostanziale e procedurale, da applicarsi tanto nella fase investigativa e/o di contestazione dell'illecito, quanto in quella giudiziale, ove scaturisca un procedimento di accertamento e condanna del medesimo reato e/o del connesso risarcimento.

Quanto sopra ha aperto la strada a problematiche di carattere pratico-applicativo, oltre che squisitamente giuridiche, altrimenti nemmeno astrattamente proponibili, sulle quali gli operatori del diritto e soprattutto gli organi ispettivi e repressivi istituzionalmente preposti (polizia giudiziaria) si sono confrontati. L'analisi della idoneità a costituire fonte di prova nell'ambito forense delle rilevazioni di fenomeni inquinanti compiuta con gli apparati oggetto del presente elaborato che, di seguito, si affronteranno costituisce, all'interno del dibattito dottrinario e giurisprudenziale, uno degli aspetti più problematici e di maggior interesse, al fine anche di ottimizzare l'azione amministrativa-penale di contrasto agli illeciti ambientali.

Idrocarburi in mare

Gli idrocarburi, composti organici contenenti soltanto atomi di carbonio e di idrogeno, costituiscono una classe estremamente ampia di composti al cui interno possono essere operate distinzioni basate su proprietà chimico-fisiche delle molecole. Ai fini di questo studio interessa dividere la classe in due categorie principali:

- 1) Persistenti (Grezzi, Oli combustibili, Bitumi);
- 2) Non persistenti (Benzine, Kerosene, Diesel);

in modo da porre in evidenza le proprietà che assumono rilievo nel trattare eventuali sversamenti tra cui:

- la densità o propensione al galleggiamento (misurata in relazione a quella dell'acqua distillata, dipende dalla quantità e qualità dei legami degli atomi di carbonio, normalmente indicata in °API, fornisce un'indicazione circa la capacità dell'olio di galleggiare);
- la viscosità o resistenza allo scorrimento (caratterizza la resistenza allo scorrimento di una sostanza come la resistenza che le particelle di un corpo incontrano nello scorrere le une rispetto alle altre, è espressa in centistokes in funzione della temperatura alla quale è misurata);
- la volatilità o propensione all'evaporazione (gli idrocarburi più leggeri hanno una maggiore tendenza ad evaporare, ad esempio a 200 °C il gasolio evapora al 100%, un crudo medio evapora al 40%);
- il punto di intorbidamento (*cloud*) e il punto di scorrimento (*pour*) che indicano, rispettivamente, la temperatura più bassa alla quale il combustibile può essere pompato nel sistema di alimentazione senza creare problemi e la temperatura al di sotto della quale un idrocarburo non scorre;
- Il punto di infiammabilità o *flash point* (temperatura minima alla quale i vapori di un combustibile si accendono in presenza di fiamma, dipende dalla pressione atmosferica ed è normalmente misurato alla pressione standard di 1013 mbar);
- Il contenuto in asfaltene (wt%) o propensione all'emulsione (la capacità di un grezzo di formare un'emulsione di olio in acqua è influenzata dal contenuto in asfaltene, infatti, oltre lo 0,75%, se sono soddisfatte condizioni quali il tenore in cere, lo spessore delle chiazze e la viscosità, all'aumentare del contenuto in asfaltene crescerà la produzione di emulsioni).

Nel corso di un inquinamento in mare, la propensione all'emulsione assume particolare rilevanza in quanto al formarsi di emulsioni di acqua in olio, questo può inglobare acqua sino all'80% del suo volume. Generalmente, le emulsioni formate dagli oli leggeri (asfaltane >0,5%), sono stabili mentre quelle formate dagli oli pesanti (asfaltane <0,5%), sono instabili e tendono alla dispersione, ad esempio la cosiddetta "mousse di cioccolato" è un'emulsione stabile, spesso di colore marrone-arancio.

I porti e i punti di scarico del petrolio grezzo o dei prodotti raffinati costituiscono una causa permanente di inquinamento, cui contribuiscono sensibilmente i cantieri di demolizioni navali. Petrolio ed altri idrocarburi vengono versati frequentemente in mare dalle raffinerie rivierasche, a causa di perdite incontenibili di modesta quantità se considerate singolarmente ma, ingenti, qualora protratte nel tempo. Lo scarico delle acque di lavaggio delle petroliere, eseguito deliberatamente e spesso a poca distanza dalle coste e gli incidenti che subiscono talvolta queste navi possono riversare in zone ristrette quantitativi enormi di petrolio greggio. In tutto il mondo la lavorazione e il trasporto del petrolio introducono in mare 1.500.000 tonnellate all'anno di idrocarburi.

Mentre le cause permanenti di inquinamento, in quanto previste e prevedibili, possono venire contenute, disciplinate e più facilmente perseguite, le cause accidentali costituiscono l'aspetto del fenomeno non solo più appariscente ma anche più pericoloso, in quanto conseguenze di eventi improvvisi, non sempre tempestivamente accertabili nella localizzazione e nella dimensione.

Nell'acqua gli idrocarburi formano ampie macchie galleggianti che possono essere attaccate lentamente da organismi microbici e da processi fotochimici.

Il risultato è, comunque, una sottrazione di ossigeno all'ambiente sia perché il petrolio galleggiante impedisce all'ossigeno atmosferico di raggiungere le acque marine sottostanti, sia perché i batteri per degradarlo consumano ossigeno.

Gli sversamenti inducono sugli ecosistemi marini sia effetti acuti, quando i componenti dell'olio interferiscono con i processi cellulari dell'organismo (in modo tale che la morte segue immediatamente per tossicità, soffocamento od asfissia), sia effetti cronici, quando si registrano una serie di anomalie sulle abitudini di nutrizione, di comportamento, riproduttive e di vita in genere.

Evoluzione dei sistemi di rilevazione quali-quantitativa degli idrocarburi sulla superficie marina

Nel corso degli anni, differenti organizzazioni, sensibilizzate dal succedersi di eventi disastrosi in mare, hanno lavorato alla produzione di strumenti in grado di quantificare le masse sversate, a partire dai dati osservabili. I primi tentativi condividono un approccio al problema basato sulla stima delle aree interessate e sul loro aspetto. Nel 1993 il Bonn Agreement introdusse l'uso del BACC (*Bonn Agreement Colour Code*) per correlare il colore assunto dalla macchia di idrocarburo

BA Code	Approximate thickness (µm)	Approximate volume (m ³ /km ²)	Appearance / Colour
1	0.02	0.02	Silvery
2	0.1	0.1	Grey
3	0.3	0.3	Rainbow
4	1.0	1	Blue
5	5.0	5	Blue/brown
6	15-25	15-25	Brown/black
7	>100	>100	Dark brown/black
	see note		Brown/orange mousse

Tabella 1 – Bonn Agreement Color Code.

concerning counter pollution activities) del Bonn Agreement decise, pertanto, di sottoporre a revisione il BACC.

Gli studi, condotti dal SINTEF (Fondazione per la Ricerca Scientifica e Industriale Norvegese) condussero alla redazione di un nuovo codice BAOAC (*Bonn Agreement Oil Appearance Code*) accettato dalle parti contraenti del Bonn Agreement e dalla Commissione di Helsinki.

al suo spessore e, stimata l'area, dedurre il volume. Tuttavia l'applicazione pratica di questo strumento, ha sofferto delle difficoltà che gli operatori incontravano nel distinguere proprio i colori associati agli spessori (e quindi ai quantitativi) più rilevanti. Nel 1997 il gruppo di lavoro OTSOPA (operational, technical and scientific question

Dagli studi condotti emerse la necessità di addestrare il personale al riconoscimento dell'aspetto degli sversamenti, soprattutto in considerazione del fatto che, fortunatamente, la diminuzione in frequenza degli incidenti di rilevanti entità impedisce agli operatori di avere esperienza pratica degli

Code	Description Appearance	Layer Thickness Interval (µm)	Litres per km ²
1	Sheen (silvery/grey)	0.04 to 0.30	40 – 300
2	Rainbow	0.30 to 5.0	300 – 5000
3	Metallic	5.0 to 50	5000 – 50,000
4	Discontinuous True Oil Colour	50 to 200	50,000 – 200,000
5	Continuous True Oil Colour	200 to More than 200	200,000 – More than 200,000

Tabella 2 – Bonn Agreement Oil Appearance Code.

spessori maggiori.

Il progresso tecnologico, che fino ad ora ha consentito di determinare con sempre maggiore accuratezza l'estensione degli sversamenti, ha conseguito un risultato ulteriore offrendo finalmente la possibilità di stimare non solo le aree, ma anche i volumi degli idrocarburi. Il sistema

sviluppato dal Progetto PRIMi presenta alcuni elementi di forte innovazione, essendo il primo sistema operante a:

- integrare le osservazioni satellitari (utilizzando sia dati SAR che ottici) di rilascio di idrocarburi in mare con la previsione della loro dispersione fornita da modelli numerici;
- individuare la presenza di idrocarburi in mare e le loro caratteristiche (tipo di idrocarburo, volume ed età della macchia) utilizzando dati SAR di COSMO-SkyMed, ERS, ENVISAT, RADARSAT ed ALOS;
- monitorare gli eventi di inquinamento da idrocarburi utilizzando i dati satellitari Ottici (MODIS, MERIS) e classificando le macchie di petrolio in modo automatico;
- produrre automaticamente le previsioni per la dispersione degli idrocarburi per le 72 ore successive alla loro individuazione da satellite;
- monitorare i Mari Italiani e, più in generale l'intero Mediterraneo, con la maggiore frequenza possibile, grazie all'uso combinato di più satelliti;
- produrre automaticamente rapporti per gli utenti tramite il Portale Utente (<http://vlbiop.mt.asi.it>) e dare accesso a cataloghi e archivi degli eventi di inquinamento osservati anche durante la pre-operatività di PRIMi;
- fornire mappe mensili di probabilità di dispersione di rilascio di idrocarburi lungo le rotte delle petroliere nel Mar Mediterraneo.

EMSA (Agenzia Europea per la Sicurezza Marittima) Clean Sea Net.

Il sistema denominato Clean Sea Net (CSN) realizzato sotto l'egida dell'EMSA giusta quanto prescritto dalla direttiva comunitaria 2005/35CE (ratificata in Italia con D.lgs. novembre 2007) consente di effettuare il monitoraggio satellitare delle acque marine con lo scopo precipuo di localizzare e monitorare eventuali inquinamenti da idrocarburi.

Le rilevazioni restituiscono immagini satellitari, rilevate mediante satelliti muniti di Radar ad apertura sintetica (Syntetic Aperture Radar SAR).

Il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATM) ha aderito al programma C.S.N., delegando i compiti operativi al Comando Generale del Corpo delle Capitanerie di Porto – Guardia Costiera. Dal primo gennaio 2011 è stato creato l'EMSA *Clean Sea Net Data Centre*, un sistema di seconda generazione (CSN V2), ottenuto dall'evoluzione del precedente che consentirà agli stati membri di condividere una piattaforma comune di dati di supporto relativi alle attività di monitoraggio, individuazione, contenimento e bonifica delle aree marina interessate da inquinamento. Completa l'architettura del suddetto sistema un modulo previsionale che assume in *input* i dati meteo marini forniti dal portale "MyOcean" al fine di fornire in *output* accurate stime circa gli spostamenti, *plottati* nel tempo, degli *oil spill* (Oil Spill Drifting).

Il sistema satellitare di monitoraggio CSN analizza le immagini satellitari per rilevarne, in maniera del tutto automatica, le eventuali presenze di idrocarburi sulla superficie marina. Successivamente, entro 30 minuti circa dalla rilevazione, le immagini - corredate dalle informazioni ancillari - sono inviate allo Stato membro competente per territorio. Qualora l'elaborazione delle immagini dia luogo all'identificazione di aree sospette di inquinamento il sistema provvede ad inviare allo stato membro competente anche un avviso di allerta.

Inoltre, presso la postazione remota ubicata presso la Centrale Operativa del Corpo delle Capitanerie di porto, attraverso il *browser web* un operatore può correlare – tramite tracce AIS (*Automatic Identification System*) – la posizione geografica dell'inquinamento segnalato con le eventuali unità navali presenti in zona o con rotta compatibile. Tuttavia, al fine di migliorare l'addestramento dell'algoritmo di identificazione degli *oil spill*, è richiesto ad ogni stato membro di fornire un *feedback* circa la reale presenza dell'idrocarburo segnalato. In tal modo si è permesso al sistema di raggiungere affidabilità sempre più spinte popolandolo, nel contempo, un prezioso data base contenente i dati storici rilevati contestualmente sia dalle immagini radar che dalle verifiche *in situ*. A testimonianza dei progressi nel settore del monitoraggio ambientale mediante sistemi satellitari si ritiene degno di nota citare il *case history* inerente la Motonave “Humboldt Bay” – cargo battente bandiera liberiana – individuata il 18 agosto 2010 in posizione compatibile con un *oil spill* rilevato dal sistema di che trattasi. Sulla scorta delle informazioni attinte dal sistema AIS la Centrale Operativa del Corpo delle

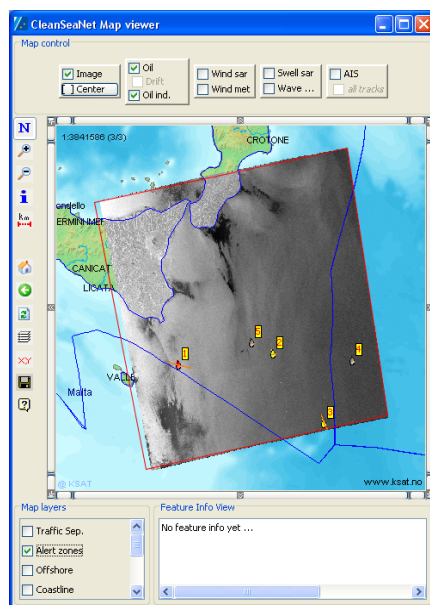


Figura 3 – Screen shot Clean Sea Net.

Capitanerie di porto ha richiesto, secondo quanto previsto dalle norme comunitarie che regolamentano le visite Port State Control (P.S.C.), un'ispezione a bordo della motonave da effettuarsi nel porto di destinazione (Ankara – Turchia). Durante la visita ispettiva sono emerse irregolarità talmente gravi da indurre le competenti autorità al fermo della nave.

Le appena ricordate attività di polizia condotte sotto il coordinamento del Comando Generale del Corpo sono state particolarmente apprezzate dagli organi di vertice dell'EMSA tanto da citarle, quali *best practics*, durante la presentazione del Clean Sea Net di seconda generazione.

L'impiego forense e nelle indagini di Polizia Giudiziaria dei dati tele rilevati.

Dalla disamina dei sistemi sin qui descritti si può affermare che l'azione di contrasto all'inquinamento ambientale e, nello specifico marino, demandata al Corpo, è validamente supportata da una molteplicità di strumenti operativi altamente tecnologici che consentono la rilevazione, l'archiviazione e la gestione di numerosi dati che, associati o meno ai controlli *in situ* ed ai relativi campionamenti, permettono la “contestualizzazione” del reato ambientale e la conseguente perseguibilità.

Ne discende, però, sulla scorta di quanto già anticipato in premessa, che laddove il personale del Corpo si trovi a rivestire funzioni di P.G. e, per l'effetto, divenga braccio ed occhio operativo del magistrato inquirente, lo stesso personale debba improntare la sua azione al pieno rispetto dei principi che regolamentano l'attività investigativa, prima, e quella probatoria - dibattimentale, poi, qualora dalla notizia di reato si giunga nelle aule del Tribunale penale.

La domanda da porsi, pertanto, è la seguente: possono i dati rilevati con le strumentazioni descritte fungere da prova o da fonte di prova in ambito forense e, se sì, a quali condizioni?

La risposta a tale quesito è piuttosto complessa e, in questa sede, non può che essere accennata.

Ad ogni modo, onde inquadrare correttamente la questione, occorre compiere una prima distinzione tra strumentazioni che producono informazioni “qualitative” costituite da indicatori immediatamente apprezzabili e valutabili (immagini, riproduzioni video, foto o audio) ed apparati che forniscono dati “quantitativi” ovvero valutabili solo in associazione a parametri definiti a priori, previa “lavorazione” e/o decommutazione degli stessi.

Per quanto attiene le rilevazioni qualitative, può ritenersi che sul punto si sia raggiunta, tanto in dottrina, quanto in giurisprudenza, una posizione condivisa.

Secondo Santoloci, Cristelli, Zanelli ed altri autorevoli autori, in conformità a quanto espresso anche dalla Suprema Corte “i rilievi fotografici costituiscono un atto formale e proceduralmente valido ed efficace, se realizzato con una serie di foto commentate con didascalie, in modo da formare una vera e propria verbalizzazione ispettiva e descrittiva”.

In particolare, i rilievi fotografici sono da considerarsi, ai fini processuali, quali atti irripetibili ai sensi e per gli effetti dell’art. 431, comma 1, lettera b c.p.p., attestazioni, cioè, atte a cristallizzare la realtà dei fatti, del tutto utilizzabili in via dibattimentale.

Va precisato che, l’ “irripetibilità” degli atti non deriva – come molto più spesso accade nel sistema delle prove per i rilievi in laboratorio su liquidi o sostanze deperibili – dalla circostanza che la lettura del dato non consente un’ulteriore e successiva decodificazione del medesimo per distruzione e/o esaurimento del supporto che lo contiene, ma per la natura stessa dell’oggetto fotografato e della tecnica di rilevazione.

In altri termini, in primo luogo, irripetibile è la realtà riprodotta nell’immagine (ad es. lo sversamento di idrocarburi in mare dalla motonave Alfa in navigazione) che per il semplice decorso del tempo si evolve in qualcosa di sostanzialmente diverso dal reperto della prima immagine, oltre al fatto che il reato stesso può, nella specifica condizione di tempo e luogo, coincidere con un’azione istantanea, non ripetibile o non ripetuta e reiterata. In secondo luogo, lo stesso strumento di rilevazione può essere caratterizzato da irripetibili condizioni spaziali, temporali, meteorologiche, fisiologiche, ambientali e/o di refrazione, umidità, quota, inclinazione e/o altro che non possono essere riprodotte in maniera identica in altro momento. Per completezza di discorso, si sottolinea che, per non vedersi frustrata l’idoneità ad assurgere a prova valida in dibattimento, occorre distinguere se la rilevazione è effettuata nell’ambito di un accertamento amministrativo, in contraddittorio o meno con la controparte o, in ambito penale su istanza dello stesso P.M..

Nella prima ipotesi ove le decodifiche in laboratorio avvengano alla presenza della controparte (soggetto accertato, ma formalmente non ancora indagato), il rilievo fotografico ivi prodotto, potrà essere validamente ed inconfutabilmente utilizzato in sede penale – ove accerti la sussistenza di un reato – fungendo da piena prova.

Diversamente, ove la decodificazione avvenga unilateralmente, senza contraddittorio ed emerga l’esistenza di condotte penalmente rilevanti, tale rilievo non costituirà prova piena, ma, lungi dal perdere completamente l’efficacia probatoria, costituirà comunque atto utilizzabile dal P.M. nel proprio fascicolo, secondo il codice di rito.

Seguiranno, pertanto, le necessarie notificazioni di garanzia alla parte e la successiva attività di polizia giudiziaria a supporto delle indagini.

Resta inteso che, qualora l’impiego degli strumenti di rilevazioni venga attivato su richiesta formale del P.M. e dovessero, all’atto della rilevazione, emergere ipotesi di flagranza di reato decadrà l’obbligo di compiere tutti gli atti di garanzia verso l’indagato normalmente previsti dal codice e potranno compiersi tutte le azioni autonome richieste dal caso (perquisizioni, sequestri etc..).

Altre ben più complesse considerazioni di natura giuridica conseguono all’impiego dei sistemi produttori di dati di natura “quantitativa”.

In via preliminare, giova sottolineare che è proprio la normativa in materia ambientale ad imporre la quantificazione di indicatori misurabili, per la configurazione stesso del reato di inquinamento.

Anche nel campo marittimo trova applicazione il concetto di “inquinamento formale” piuttosto che di danno sostanziale, a similitudine di quanto avviene con l’impianto giuridico fissato dal D.Lgs. 152/2006. La normativa richiamata individua i parametri entro il quale il corpo ricettore “può”

essere inquinato, cosicché, paradossalmente, solo il superamento di specifici parametri tabellari permette di distinguere tra inquinamento “lecito”, irrilevante ai fini penali ed inquinamento “illecito”, costituente fattispecie criminosa. E’ intuibile che siffatta impostazione che, di fatto, trasforma il reato di inquinamento da reato di condotta a reato di evento (e per di più di evento oggettivamente stimabile), vincoli e comprime ulteriormente il sistema probatorio.

A ciò si aggiunga che, allo stato attuale della normativa, non vi è un’unica ipotesi tipizzata di “reato di inquinamento”, ma più reati cosiddetti “satelliti” richiamati dal codice penale o da leggi speciali, ciascuno caratterizzato da elementi costitutivi differenti e specifici.

In tale contesto, ad una prima impressione, sembrerebbe che la piena valenza probatoria possa assegnarsi solo alle cosiddette “prove prestabilite” a forma vincolata (ad esempio sistema di prelievi in loco e analisi in laboratori accreditati). Ebbene, la giurisprudenza più recente, ormai costante da diverso tempo, sta aprendo la strada ad un nuovo orientamento che valorizzi il sistema probatorio libero, superando il limite della prova formale prestabilita.

Competerà, pertanto, alla magistratura inquirente – e di converso alla P.G. che allega le proprie indagini al fascicolo d’atti del P.M. – dimostrare il danno (ed il relativo superamento tabellare) anche con metodi logico-induttivi diversi dalle analisi di laboratorio su campioni del corpo ricettore, purchè tali metodi abbiano criteri scientificamente apprezzabili.

Si torna, pertanto, ancora una volta, alla necessità di definire quali requisiti debbano soddisfare i sistemi che forniscono dati quantitativi.

Soccorrono al proposito le considerazioni già svolte dalla dottrina in materia di prove atipiche, di cui all’art. 189 c.p. (o, in ambito amministrativo art. 2712 c.c.) o, più precisamente, di “riproduzioni meccaniche ed informatiche” di cui al D.Lgs. 82 del 7 marzo 2005 che, all’esito di un acceso dibattito giurisprudenziale, ha in buona parte codificato le regole per l’impiego di strumenti quali l’autovelox, l’etilometro, le telecamere delle ZTL (in ambito amministrativo) o in tema di accertamenti medico legali per gli esami ematici o le indagini sul DNA.

Ciò che accomuna tutti questi strumenti è la circostanza che l’informazione costituente prova del reato (o dell’illecito amministrativo) non è auto evidente nel dato spurio, ma deriva da un procedimento di decodifica che permette l’estrazione dall’input di un dato numerico (o comunque misurabile) che, associato a parametri noti e predeterminati, consente di dedurre un giudizio inequivocabile e condivisibile da parte di tutti coloro che eseguono il medesimo procedimento sul medesimo dato. In altri termini ciò che assicura al dato così acquisito il valore di prova (o quantomeno di elemento di prova liberamente apprezzabile dal giudice) è l’idoneità del procedimento di acquisizione *ab origine* e decodifica del dato, più che la natura del dato stesso.

Alcuni esempi, mutuati dai procedimenti aventi ad oggetto l’impiego di autovelox in tema di illeciti amministrativi, chiariranno meglio quanto sin qui esposto: in giudizi aventi ad oggetto la presunta inattendibilità della rilevazione compiuta dagli autovelox, i Tribunali, con giurisprudenza consolidatasi negli anni, hanno rigettato le eccezioni dei trasgressori, affermando l’idoneità delle rilevazioni a costituire legittima fonte di prova, sul presupposto che:

- gli strumenti sono regolarmente omologati e la ditta costruttrice fornisce schede tecniche che ne consentono il corretto utilizzo;
- gli strumenti prevedono un margine di tolleranza pari ad una percentuale prestabilita, cosicché al trasgressore viene contestato il superamento dei limiti tabellari, previa depurazione del 10% rispetto all’indice rilevato dall’apparecchio;
- tutti gli strumenti che intervengono nel processo di rilevazione e decodifica (pellicola, banchi di sviluppo o, più recentemente, *software* ed applicativi) sono opportunamente tarati e calibrati da ente estraneo agli agenti accertatori;
- il personale addetto alla rilevazione è specificatamente formato;
- fatta salva la competenza e professionalità degli operatori, il fattore umano non può interferire sull’attendibilità dei dati in senso pregiudizievole al soggetto accertato.

Fatte le doverose differenze, può affermarsi che anche in ambito di rilevazione di illeciti ambientali, il procedimento di formazione della prova deve soddisfare i medesimi criteri.

Si consideri, inoltre, che al di fuori delle ipotesi penali, ispirate ai diversi principi di presunzione di innocenza (*in dubio pro reo*) e di formazione della prova in sede dibattimentale – fatti salvi gli atti irripetibili-, nei casi di illeciti amministrativi, a supporto della piena valenza probatoria dei rilievi irripetibili -, nei casi di illeciti amministrativi, a supporto della piena valenza probatoria dei rilievi acquisiti in conformità ai criteri descritti, si aggiunge la presunzione di legittimità degli atti amministrativi, a norma dell'art. 2700 c.c. e la sostanziale inversione dell'onere della prova a carico del trasgressore che voglia inficiare la validità del medesimo atto amministrativo ex art. 2697 c.c.

Sulla base delle considerazioni che precedono, si ritiene dunque che il telerilevamento possa costituire un valido ausilio nelle indagini compiute dalla P.G a contrasto degli illeciti ambientali, potendo validamente produrre prove (ove si omologhino le risultanze telerilevate alle immagini fotografiche e si ricomprenda anche le prime tra gli atti irripetibili) o, quantomeno, fonti di prova.

Come autorevolmente asserito sin dal 2001 da Casacchia “un'immagine telerilevata fornisce una ripresa della superficie terrestre in funzione di tre parametri fondamentali, la risoluzione spaziale (che seleziona la scala dei fenomeni da studiare), l'ampiezza delle bande spettrali in base alle quali è possibile caratterizzare spettralmente l'oggetto territoriale in esame (risoluzione spettrale) e la risoluzione radiometrica che coincide con quella che di solito si chiama sensibilità di uno strumento. In funzione dell'interazione tra questi parametri l'immagine telerilevata fornisce un'informazione spettro-radiometrica caratteristica della superficie esaminata ed espressa tramite grandezze fisiche quali la radianza e la riflettanza. Queste grandezze sono pertanto ricavabili dalle immagini telerilevate per poter effettuare indagini quantitative, ovvero non solo basate sulla fotointerpretazione qualitativa dei dati.

E' noto che al concetto di misura di una grandezza fisica è sempre associato quello di affidabilità della misura stessa, ovvero la determinazione di quanto questa descriva la realtà osservata.

Nel caso del telerilevamento le misure di grandezze fisiche o di parametri ambientali sono determinate dalle condizioni strumentali del sensore che riguardano lo stato di calibrazione spettrale e radiometrica e da quelle ambientali dell'esperimento, riferite principalmente alle caratteristiche meteo-climatiche dell'area di studio. Di particolare importanza è anche l'angolo di incidenza solare da cui dipendono la quantità di energia incidente e le caratteristiche geometriche del sistema satellite-target-sorgente. L'uso quantitativo dei dati telerilevati prevede quindi che il contributo di tutti questi elementi sia tenuto nella debita considerazione e che il prodotto finale, spesso rappresentato da una carta tematica, sia basato su dati certi o validati in situ, di cui sia nota l'accuratezza. Tutto ciò contribuisce a definire la qualità del dato tele rilevato.

La necessità di produrre dati calibrati e validati è emersa sia nell'ambito di grandi progetti di cooperazione internazionale riguardanti lo studio di processi a scala planetaria, sia nelle applicazioni sviluppate a scala locale. In tale ambito le procedure di calibrazione strumentale sono in genere effettuate dalle agenzie o istituzioni che gestiscono la realizzazione dei sensori satellitari, come pure dovrebbero essere sotto lo stretto controllo delle agenzie che forniscono le immagini. La validazione dei dati, invece, intesa come verifica dell'accuratezza della misura del dato fisico, ha subito nell'ultimo ventennio un notevole impulso che ha determinato la creazione di numerosi siti di calibrazione al terreno e di data base dedicati.

Ne discende, dunque che le procedure di calibrazione e validazione dei dati telerilevati sono indispensabili per effettuare misure assolute delle grandezze fisiche, confrontare data set diversi, sia acquisiti a distanza di tempo con lo stesso strumento che con strumenti diversi, e per monitorare fenomeni di lungo termine”.

Sulla base di quanto sopra asserito, pertanto, torna ad assumere rilevanza l'affidabilità e misurabilità delle rilevazioni, conformemente a quanto già osservato per gli strumenti di rilevazione quantitativa (vedesi autovelox).

Non può sottacersi, inoltre, che il telerilevamento satellitare è stato considerato sin da epoca risalente quale uno dei migliori strumenti tecnologici in grado di controllare l'applicazione delle norme di diritto ambientale, tant'è che il cosiddetto “Manuale 1993”, completando una norma stabilita dalla Convenzione Internazionale del 1973, ripresa dalla MARPOL, autorizzava

espressamente l'uso di immagini satellitari come strumento di prova per inquinamenti causati dagli idrocarburi, come, in effetti, già avvenuto nel disastro naturale di Chernobyl nel 1986, nella catastrofe naturale del 1970, occorsa al Mar d'Aral e successivamente nel 1992 nell'incidente provocato dalla petroliera greca Aegan in danno delle coste della Coruna.

Perché gli atti, oggetto di telerilevamento, possano resistere anche in sede dibattimentale alle eccezioni della difesa, a parere di chi scrive è necessario che si rispettino compiutamente e senza deroga alcuna i criteri precedentemente sintetizzati.

Allo stato attuale nulla osta alla produzione di un valido certificato di omologazione sugli apparati in dotazione, né all'applicazione del margine di tolleranza sui dati rilevati (previa fissazione dell'entità della percentuale di correzione da applicarsi da parte di competente ente istituzionale).

Ciò che difetta, invece e si ritiene non procrastinabile è la certificazione /taratura /omologazione delle procedure di estrazione dei dati, mediante accreditamento presso Organismo di certificazione del laboratorio di telerilevamento presso il quale giacciono i banchi di calibrazione ed i medesimi sistemi di rilevamento.

E' indispensabile, infine, che tutto il personale impiegato segua procedure standardizzate e scientificamente testate di acquisizione, estrazione, archiviazione e gestione dei dati e venga all'uopo formato, garantendo allo stesso costante aggiornamento sulla scorta dell'evoluzione tecnologica degli apparati, oltre che, per quanto di competenza, sui contenuti della normativa in materia di illeciti ambientali, oltre che sulle tecniche e procedure di polizia giudiziaria ambientale, onde garantire quell'approccio sinergico all'interno del Corpo e nei rapporti con le altre Forze di Polizia che costituisce il criterio di efficacia ed efficienza dell'azione di prevenzione e repressione degli illeciti.

Si ringrazia l'Avv. Chiara Benelli per il supporto e la collaborazione forniti nella stesura del presente articolo.

Bibliografia

- Santoloci M. (2011) "Tecnica di Polizia Giudiziaria Ambientale"
- Caligiore A. (2011) "Manuale sulle principali tecniche antinquinamento da idrocarburo in mare", Imago editore
- Caiazza L. (2011) "Per un mare più pulito – il sistema Clean Sea Net (CSN) sviluppato dall'Agenzia Europea per la Sicurezza Marittima", *Notiziario della Guardia Costiera*, Feb. 2011: 75 -79
- Rak G. (2010) "Navigazione internazionale e protezione dell'ambiente nel mediterraneo);
- Fodella A. e Pinesca L. (2009) "La protezione dell'ambiente nel diritto internazionale" ed 2009;
- Franza A. (2006-2007) "Rivista Diritto dell'Ambiente"
- Mattia S. (2005) "L'aereofotogrammetria" Dip. Pianificazione del Territorio Università di Firenze
- Cristelli G. – Zatelli G. (2004) "Le foto: atti irripetibili importanti" su http://www.simoline.com/clienti/dirittoambiente/file/polizia_articoli_14.pdf;
- Direttive Generali del Ministero dell'Interno n. 17452/ 8 -2001 e 17452/10 -2002
- Casacchia R. (2001) "Iniziative nel campo della certificazione e qualità dei dati telerilevati", *Rivista Italiana Telerilevamento*, 22:41-46.
- Cassano G. – Cosentino C. (2000) "Il danno ambientale – Lineamenti Giurisprudenza Normativa".
- Olivari G "Controlli di Polizia Ambientale: cenni sulla raccolta ed elaborazione dei dati acquisiti" su http://www.dirittoambiente.net/base1.php?a=polizia_articoli&b=polizia&c=&page=13&g=9;
- Casini R "Aspetti di tecnica d'indagine e di cooperazione interforze nel contrasto dei reati ambientali" su <http://www.lexambiente.it/acrobat/Casini.pdf>;

Tecniche di generalizzazione cartografica dalla grande alla media scala

Sandro Savino, Massimo Rumor, Sergio Congiu

sandro.savino@dei.unipd.it, rumor@unipd.it, congiu@unipd.it
Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione
Via Gradenigo 6/B, 35131 Padova, Italy

Abstract

Dal 2006 il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università di Padova è coinvolto in un progetto di ricerca, chiamato CARGEN, per lo sviluppo e la sperimentazione di metodi automatici per la generalizzazione cartografica dalla grande alla media scala. In questo articolo, di seguito ad una breve introduzione sulla generalizzazione cartografica e sul progetto CARGEN, verranno presentate alcune delle tecniche di generalizzazione automatica che si stanno sperimentando all'interno del progetto per la derivazione delle scale 1:25000 e 1:50000 a partire dai dati della Regione Veneto in scala 1:5000. Le conclusioni aiuteranno a tracciare la linea di sviluppo futura del progetto e i riferimenti permetteranno al lettore interessato di approfondire gli argomenti affrontati.

Introduzione

La generalizzazione cartografica è il processo che permette la creazione di una cartografia a partire da una cartografia esistente a scala più alta. In conseguenza dei vantaggi economici e temporali che il riutilizzo di dati esistenti permette, la generalizzazione, intesa come processo manuale, è da sempre una opzione vantaggiosa nella produzione cartografica ed in quanto tale è utilizzata nei processi produttivi di varie *mapping agencies*; con la transizione ai dati cartografici digitali si è aperta la possibilità di una automazione del processo di generalizzazione, obiettivo che alimenta una intensa attività di ricerca in ambito internazionale. Il conseguimento della generalizzazione automatica porterebbe ricadute importanti nel modo e nei tempi di produzione cartografica, permettendo di realizzare, con costi e tempi ridotti, prodotti cartografici più consistenti nelle varie scale, di rendere più facile l'aggiornamento della cartografia ed eventualmente la sua personalizzazione (ad esempio scale o tematismi diversi a seconda dei bisogni dell'utente o del mezzo di presentazione).

Molti anni di ricerca nel campo della generalizzazione stanno portando a risultati sempre più importanti e non solo legati ad un aspetto di pura ricerca: recentemente si è assistito ad un sempre maggiore interesse verso tecniche di generalizzazione automatica presso vari organi cartografici e l'effettivo utilizzo di software di generalizzazione all'interno di processi produttivi

In Italia questo interesse ha portato ad alcune sperimentazioni di generalizzazione automatica e ad alcuni progetti di ricerca, il più recente dei quali è il progetto CARGEN, attualmente in corso presso il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione dell'Università degli Studi di Padova.

La generalizzazione cartografica e il progetto CARGEN

Nel 2006 la Regione Veneto sigla un accordo di ricerca con l'Università degli Studi di Padova per lo sviluppo e sperimentazione di tecniche di generalizzazione automatica per la derivazione del DB25 IGM in scala 1:25000 a partire dai dati regionali in scala 1:5000. Questo progetto di ricerca,

denominato CARGEN (CARtografia GENeralizzata), coinvolge più precisamente l'Unità di Progetto per il Sistema Informativo Territoriale e la Cartografia e il Dipartimento di Ingegneria dell'Informazione e vede la partecipazione dell'Istituto Geografico Militare. Dopo 3 anni di ricerca, nel 2009, i primi risultati del progetto vengono presentati ad un convegno tenutosi a Padova; nello stesso anno il progetto viene esteso, con lo scopo di continuare la ricerca, migliorando le tecniche sviluppate, ed investigare il tema della generalizzazione di dati alla scala 1:50000.

Il processo di generalizzazione cartografica, inteso come rappresentazione di dati ad una scala minore, si può identificare come un problema di selezione dell'informazione, di astrazione e di rappresentazione della stessa alla scala generalizzata; inteso come derivazione da una cartografia differente si può intendere invece come un problema di modellazione dell'informazione presente nella cartografia originale nel modello proprio della cartografia di destinazione. Questi due aspetti, quello di rappresentazione e quello di modellazione, sono le due facce della generalizzazione con cui ogni progetto di generalizzazione si deve confrontare.

In aggiunta agli aspetti citati sopra, lo sviluppo di un software di generalizzazione deve anche confrontarsi con ulteriori problematiche come gli aspetti di usabilità e di interazione con l'utente (ad esempio configurazione del sistema, verifica e validazione dei risultati) e aspetti più eminentemente informatici, come problemi di performance e complessità computazionale o di accesso e manipolazione dei dati (ad esempio il problema del partizionamento del dataset).

La comprensione delle problematiche legate a questi aspetti permette di apprezzare la complessità legate allo sviluppo di un software di generalizzazione.

Il progetto CARGEN, nei vari anni di sviluppo, si è trovato ad affrontare tutti gli aspetti legati alla generalizzazione. Il punto di partenza del lavoro di ricerca è stato lo studio attento dei modelli dati della Regione Veneto per i dati sorgenti e IGM per i dati di destinazione (o generalizzati). Lo studio di modelli e specifiche ha permesso di valutare la compatibilità tra i modelli, sia dal punto di vista semantico che geometrico, individuando le *feature class* completamente derivabili, quelle non derivabili e quelle parzialmente derivabili, e portando alla realizzazione di uno schema di derivazione tra le *feature class* del primo e del secondo modello.

Dal punto di vista semantico, *feature class* parzialmente derivabili hanno richiesto la messa a punto di tecniche di generalizzazione per estrarre dal dato originale le informazioni necessarie per la loro derivazione; *feature class* non derivabili hanno richiesto invece una revisione dei modelli, modificando le specifiche di uno o dell'altro modello al fine di migliorare la loro compatibilità, rimuovendo dal modello dati di destinazione le informazioni (*feature class* o attributi) non derivabili o aggiungendo nel modello dati di partenza le informazioni necessarie per derivarle.

Il lavoro di analisi dei modelli ha richiesto varie revisioni successive, per aggiornare gli schemi di derivazione tra le *feature class* dei modelli dati man mano che il modello dati della Regione Veneto veniva aggiornato alle ultime specifiche decise in ambito nazionale.

La derivazione alla scala 1:50000 ha richiesto inoltre la definizione di un modello dati a tale scala: questo modello è stato realizzato basandosi sulle specifiche IGM per la realizzazione dei fogli della serie 50 in scala 1:50000 e sul modello dati DB25.

Dal punto di vista geometrico, il compito di individuare ed implementare tecniche di generalizzazione per la derivazione delle *feature class* parzialmente derivabili è, dal punto di vista della ricerca e sviluppo, il più affascinante e complesso. Il passaggio dalla scala 1:5000 alle scale 1:25000 e 1:50000 richiede che la maggior parte delle *feature class* subiscano una qualche trasformazione, trasformazioni che possono essere semplici come il collassamento di un'area in un punto, o più complesse come lo sfoltimento di un gruppo di edifici ed in molti casi richiedono lo sviluppo di tecniche ad hoc per la risoluzione di un singolo specifico problema. Ad esclusione delle *feature class* più semplici, direttamente derivabili, la totalità delle *feature class* risulta parzialmente derivabile, ovvero richiede un qualche tipo di intervento sulle sue geometrie; le *feature class* non derivabili, in un contesto di ricerca sulla generalizzazione automatica, indicano problemi per i quali non è stata ancora individuata una soluzione, fornendo stimoli nuovi alla ricerca.

La generalizzazione semantica richiede lo studio, la comprensione e il confronto di due modelli dati

al fine di individuare le relazioni tra le loro *feature class*, un lavoro complesso e delicato che anche a causa del suo carattere di unicità (le relazioni sono caratteristiche dei due modelli e non applicabili ad altri) male si presta ad essere automatizzato e delegato ad un computer.

La generalizzazione delle geometrie, d'altro canto, ben si presta ad essere automatizzata: una volta definita una strategia di generalizzazione infatti questa può essere applicata per risolvere automaticamente tutti i problemi simili ripetuti all'interno di interi dataset; in taluni casi le problematiche di generalizzazione geometrica possono essere sufficientemente generali da consentire che le soluzioni sviluppate possano essere usate su scale, *feature class* o modelli dati differenti, rendendo di fatto possibile la creazione di tecniche di generalizzazione da usare in contesti diversi. Per questi motivi, mentre per la definizione della generalizzazione semantica si è proceduto manualmente, per la definizione delle tecniche di generalizzazione geometrica ci si è basati sullo stato della ricerca, utilizzando, adattando o migliorando tecniche esistenti oppure, in mancanza di soluzioni adeguate, sviluppando tecniche nuove.

Tecniche di generalizzazione

La generalizzazione è un tema molto complesso, oggetto di una intensa ricerca e sperimentazione. Negli anni sono stati sviluppati diversi modelli e approcci a questo problema (si veda ad esempio (Harrie e Weibel, 2007)), a partire da singoli algoritmi per scopi ben determinati (es. la riduzione dei vertici di una linea (Douglas, Peucker 1973)) a complessi sistemi condizionali (CA, *condition-action*), passando per sistemi esperti e sistemi interattivi. Un grande impulso alla ricerca è stato dato dall'introduzione dei sistemi ad agenti, evoluzione di un approccio che modella la generalizzazione in base a vincoli (CB, *constraint-based*) ed incarnato principalmente nel progetto di ricerca europeo Agent (Agent, 2000). L'approccio ad agenti, benchè sia al centro di uno dei maggiori software di generalizzazione e sia utilizzato in produzione da alcuni organi cartografici ufficiali, non rappresenta tuttavia il punto di arrivo della ricerca nel campo della generalizzazione, ancora lontano dal trovare una soluzione completa a questo problema (si veda il risultato del recente progetto EuroSDR (Stoter, 2010)). L'attuale trend di ricerca e sviluppo è rappresentato dall'integrazione di diversi sistemi ed approcci, con i sistemi condizionali ed i sistemi basati su vincoli come principale alternativa ai sistemi ad agenti. All'interno del progetto CARGEN si è optato, sin dall'inizio, per un approccio pragmatico al problema, mirato più al conseguimento di risultati che allo studio di modelli teorici. Le tecniche di generalizzazione sviluppate derivano da uno studio dello stato dell'arte nel campo, adattando soluzioni esistenti al nostro specifico problema di generalizzazione ed in altri casi sviluppando soluzioni innovative.

La scelta di operare utilizzando software *open source*, rimanendo fuori dalle funzionalità offerte dai prodotti commerciali, se da un lato ha reso lo sviluppo del software più laborioso, dall'altro ha permesso di integrare soluzioni diverse in un unico prodotto.

Il risultato di queste scelte è un software scritto interamente in Java, capace di interfacciarsi con il software GIS OpenJump, basato su alcune librerie condivise ed algoritmi mirati alla soluzione di alcuni specifici problemi della generalizzazione dalla grande alla media scala. Gli algoritmi di generalizzazione sono basati principalmente su modelli condizionali o a vincoli e producono un risultato in maniera completamente automatica.

Le tecniche di generalizzazione sono state sviluppate a partire dallo studio delle specifiche sui modelli dati, dalla letteratura in materia e dalla documentazione IGM per la derivazione del DB25 a partire dalle CTR; in particolare la lettura di questa ultima ha fornito degli utili suggerimenti su quali trasformazioni eseguire per produrre dati in scala 1:25000. Lo sviluppo si è quindi concentrato sul produrre algoritmi che in qualche modo mimassero il *modus operandi* del cartografo. Gli algoritmi sviluppati rispondono ognuno ad un particolare problema di generalizzazione ma possono essere raggruppati a seconda del tipo di trasformazione che effettuano (operatore di generalizzazione, vedi (Shea, McMaster, 1989)); per la generalizzazione di una *feature class* può essere necessario adoperare più operatori di generalizzazione, applicati in sequenza oppure in maniera condizionale.

La generalizzazione dei boschi, ad esempio, viene effettuata applicando algoritmi sequenziali: adottando una tecnica descritta in (Mackaness et al., 2008) le aree boschive vengono unite ad aree boschive limitrofe, successivamente eventuali radure di dimensioni inferiori ad una certa soglia all'interno dei boschi vengono eliminate e il bordo dei boschi viene smussato (operatore di *smoothing*) e semplificato. Nel caso in cui il bosco sia cinto su uno o più lati da una via d'acqua o di comunicazione, il bordo del bosco viene esteso fino a congiungersi con questo elemento; lo spazio vuoto viene colmato utilizzando un algoritmo basato sulla triangolazione, in maniera simile a quanto descritto in (Jones et al., 1995).

Questa stessa tecnica viene impiegata anche nella generalizzazione di aree di colture, per eliminare eventuali spazi vuoti tra i confini di queste ed eventuali strade limitrofe.



Figura 1 – Generalizzazione dei boschi, con estensione a strade limitrofe.

La generalizzazione dell'edificato invece viene effettuata applicando una tecnica più complessa, che impiega sia algoritmi sequenziali che condizionali. La generalizzazione di un edificio singolo viene effettuata applicando in sequenza operatori che effettuano la riduzione del numero di vertici (il celebre (Douglas, Peucker, 1973)), l'eliminazione dei lati troppo corti (una versione modificata di quanto descritto in (Sester, 2000)) e la rettificazione degli angoli (operatore di *squaring*), operazione eseguita solamente su edifici che superano un test di regolarità di forma. Nel caso in cui l'edificio non sia isolato, la procedura include la fusione con edifici adiacenti o limitrofi (entro una certa soglia) e, a posteriori, un controllo topologico per verificare l'assenza o correggere gli eventuali errori introdotti dalle operazioni effettuate. Nel caso in cui la densità dell'edificato sia eccessiva (ossia superiore ad una soglia, dipendente dalla scala), la generalizzazione viene effettuata tramite una diversa tecnica, in parte derivata dal lavoro di (Regnaud, 2001) che utilizza l'operatore di tipificazione per ridurre il numero di edifici rappresentati.

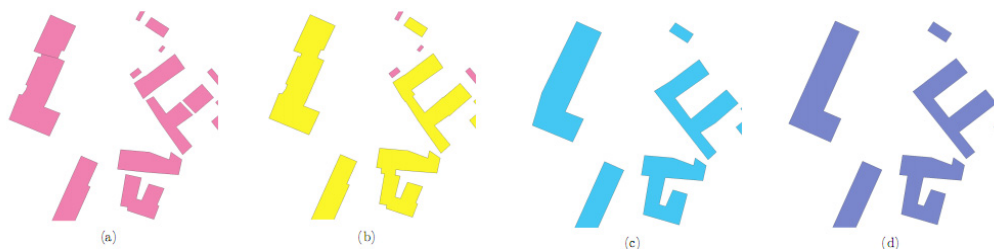


Figura 2 – Generalizzazione dell'edificato non denso con fusione di elementi vicini, semplificazione e *squaring*.

E' interessante notare che se da un punto di vista teorico e di analisi di modelli e specifiche è possibile distinguere la generalizzazione semantica da quella geometrica, dal punto di vista delle tecniche di generalizzazione non è possibile dividere in maniera netta la generalizzazione dell'informazione semantica dalla generalizzazione dell'informazione geometrica.

Se la trasformazione delle geometrie infatti deve essere guidata dal dato semantico (una geometria

rappresentante una casa viene trasformata in modo diverso da una geometria rappresentante un lago), è altresì vero che anche la generalizzazione del dato semantico può essere guidata dall'informazione contenuta nel dato geometrico, estratta ad esempio tramite tecniche di analisi morfologica.

Un semplice esempio in cui la generalizzazione del modello è guidata dall'informazione geometrica lo si trova nel processo di generalizzazione della rete idrica. Il modello dati IGM prevede tre classi di rappresentazione per i corsi d'acqua, classificandoli a seconda della larghezza; poiché la larghezza non è un attributo presente nel modello dati della Regione Veneto, questa viene calcolata basandosi sulla geometria areale che descrive il corso d'acqua: la derivazione delle feature class è ottenuta estraendo l'informazione direttamente dalle geometrie originali, calcolando per ogni tratto di fiume la media delle distanze tra i punti di intersezione tra l'area fluviale e delle linee normali all'asse del fiume disegnate ad intervalli regolari su di esso. L'informazione sulla larghezza di ogni tratto di fiume viene usata per classificare gli elementi della rete idrica secondo il modello dati IGM.



Figura 3 – A sinistra calcolo della larghezza media su una sezione di fiume tramite le normali all'asse; a destra il risultato della generalizzazione: il fiume viene collassato da area a linea perché troppo stretto.

La generalizzazione della rete stradale contiene esempi più complessi dell'utilizzo dell'analisi morfologica per estrarre dalle geometrie informazioni non esplicitamente presenti nel modello dati di origine, ma necessarie alla fine del processo di generalizzazione. Ad esempio la generalizzazione della rete autostradale ha richiesto di sviluppare un algoritmo in grado di identificare, all'interno dell'autostrada, le diverse componenti di carreggiata, svincolo, casello e area di sosta, rappresentati da IGM in maniera differente ma non distinti nel modello dati della Regione Veneto. Questo algoritmo si basa su una tecnica, descritta in (Savino et al., 2010), che a partire dalla forma degli elementi stradali che compongono la rete autostradale distingue le carreggiate come i più rettilinei, i caselli come le sezioni connesse alla rete stradale ordinaria, le aree di sosta come sezioni connesse alla stessa carreggiata e gli svincoli come sezioni congiungenti due diverse carreggiate.

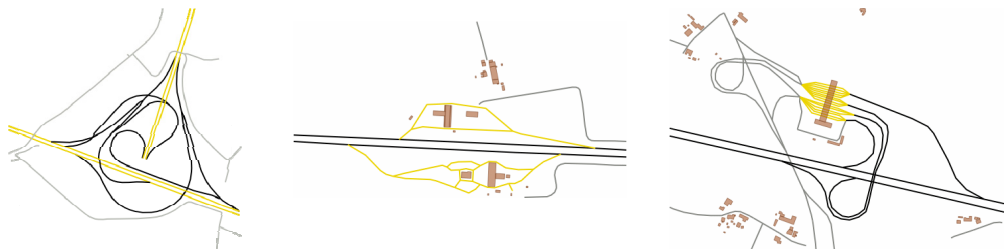


Figura 4 – Da sinistra a destra in giallo: carreggiate, aree di sosta e caselli identificati dall'algoritmo di classificazione; gli svincoli sono in nero nella prima figura a sinistra.

Gli esempi citati evidenziano bene come in alcuni casi l'analisi delle geometrie sia indispensabile ai fini della generalizzazione semantica, risultando essere l'unico strumento per estrarre dai dati originali le informazioni necessarie per derivare alcune *feature class* o alcuni attributi del modello di destinazione. In generale l'analisi delle geometrie risulta essere una parte fondamentale dell'intero processo di derivazione, proprio perché queste contengono informazioni che devono essere esplicitate per poter operare una buona generalizzazione. La generalizzazione delle giunzioni stradali (incroci, rotonde, immissioni) viene effettuata sia utilizzando tecniche di analisi morfologica, sia tecniche di analisi del grafo, descritte in (Savino et al., 2009), che permettono l'identificazione, la classificazione e successivamente la generalizzazione di questi oggetti che, seppur non presenti nei modelli dati né di Regione Veneto né di IGM, richiedono di essere trattati in maniera separata dal resto del grafo stradale. L'analisi del grafo viene usata anche per effettuare lo sfoltimento del reticolo stradale, necessario in aree ad alta urbanizzazione o a scale basse per eliminare gli elementi meno rilevanti. Per effettuare questa operazione di selezione il solo dato semantico può non essere sufficientemente dettagliato: è quindi necessario ricorrere a tecniche di analisi del grafo per poter arricchire la classificazione originale e individuare le strade meno importanti. La tecnica di generalizzazione sviluppata utilizza il calcolo dei cammini minimi, su ispirazione di quanto suggerito in (Jiang, Claramunt, 2002), per creare una tassonomia delle strade sufficientemente definita da individuare, anche tra strade che nel modello dati hanno pari classe, quelle meno importanti.

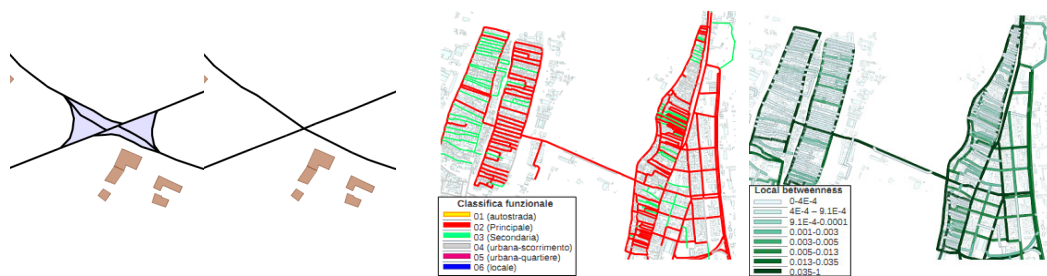


Figura 5 – A sinistra identificazione di un incrocio e generalizzazione, a destra arricchimento del modello dati originale.

L'analisi del grafo è una tecnica utilizzata anche nella generalizzazione del reticolo idrografico. In modo analogo a quanto detto per il reticolo stradale, anche la generalizzazione dell'idrografia richiede la costruzione di una tassonomia sufficientemente ricca da poter distinguere i corsi d'acqua meno rilevanti (in relazione alla scala di rappresentazione) per effettuare uno sfoltimento della rete. La tecnica di generalizzazione sviluppata, descritta in (Savino et al., 2011), utilizza l'analisi delle connessioni tra elementi idrici, in congiunzione all'analisi delle quote Z, per ricostruire i corsi dei fiumi ed attribuire loro una importanza relativa utilizzando diversi indicatori (si veda ad esempio (Strahler, 1963)); sulla base di questi indicatori e vincoli sulla lunghezza dei corsi d'acqua e la loro prossimità viene effettuato lo sfoltimento del reticolo idrografico.

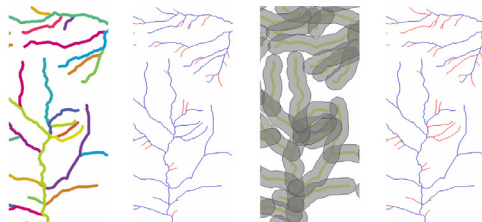


Figura 6 – Da sinistra a destra le fasi dello sfoltimento del reticolo idrografico: arricchimento del modello, selezione sulla base della lunghezza, calcolo delle prossimità e sfoltimento sulla base della densità.

Un processo di generalizzazione dalla grande alla media scala, soprattutto se basato su modelli dati ricchi come quelli della Regione Veneto e di IGM, richiede lo sviluppo di moltissime tecniche di generalizzazione. In questo articolo sono state illustrate solo alcune delle tecniche in uso all'interno del progetto CARGEN: molte altre sono state sviluppate, o sono in corso di sviluppo, e qui per brevità non sono esposte (ad esempio quelle per la generalizzazione del grafo ferroviario o delle scoline). Il grande numero di tecniche necessarie al conseguimento della generalizzazione rende bene merito della complessità insita in questo affascinante tema di ricerca.

Conclusioni

La generalizzazione cartografica automatica è un tema molto complesso e lo sviluppo di tecniche di generalizzazione si deve confrontare con aspetti legati sia alla semantica che alle geometrie dei dati da generalizzare. Gli esempi e le tecniche illustrate in questo articolo mettono bene in evidenza come parte dell'informazione necessaria per effettuare una buona generalizzazione sia contenuta in maniera implicita nelle geometrie dei dati da generalizzare. Disegnare algoritmi in grado di estrarre questa informazione implicita ed interpretarla, in maniera analoga a quanto fa inconsciamente il cervello di chi realizza o utilizza una mappa, rappresenta la sfida più grande della generalizzazione automatica, una sfida che nonostante i continui progressi non è ancora vicina dall'essere vinta.

Le potenziali ricadute della generalizzazione cartografica automatica però offrono tali indiscutibili vantaggi, sia nella produzione che nel mantenimento di prodotti cartografici, da giustificare una continua ricerca in questo campo.

Uno degli aspetti più critici nello sviluppo di un software di generalizzazione automatica è l'integrazione del know-how cartografico con quello informatico: in questa ottica è importante, ai fini della buona riuscita di un progetto di ricerca come CARGEN o nello sviluppo di software di generalizzazione, che la ricerca veda una costante collaborazione tra i diversi soggetti che detengono queste due competenze, per la definizione di obiettivi e la revisione dei metodi per ottenerli. Una soluzione completa ed interamente automatica al processo di generalizzazione è un risultato ancora ben lungi dall'essere raggiunto, ciononostante la ricerca ha dimostrato di essere giunta ad un punto sufficientemente maturo per essere impiegata fruttuosamente nella produzione di cartografia se applicata a temi ben specifici. In questa ottica, per cogliere al meglio il potenziale di un progetto di ricerca come CARGEN, è possibile ed utile incanalare gli sforzi di ricerca verso alcuni obiettivi ben definiti, in maniera tale da ottenere soluzioni, a questi problemi circoscritti, sufficientemente robuste da essere applicabili al di fuori del puro contesto di ricerca.

Lo sviluppo di tecniche di generalizzazione cartografica automatica, benché sia una attività molto complessa, risulta una importantissima opportunità e per certi versi una necessità per velocizzare ed ammodernare il sistema di produzione di cartografia, nazionale e non, in Italia; una opportunità sulla quale è importante continuare ad investire e collaborare per poter cogliere al meglio i vantaggi che questa tecnica può offrire.

Ringraziamenti

Si ringraziano Maurizio De Gennaro, Antonio Zampieri, Pierpaolo Milan presso la Regione Veneto e il Ten. Col. Gennaro Afeltra, Cinzia Taffi, Claudio Rocchini, Geremia Giovanale presso IGM per il continuo supporto, passato e presente, durante tutte le fasi del progetto.

Bibliografia

AGENT (2000) Project ESPRIT AGENT Map Generalisation by Multi-Agent Technology online: <http://agent.ign.fr>

Douglas D., Peucker T. (1973) "Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature", in *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, 10, 112-122

Jiang B., Claramunt C. (2002) "A Structural Approach to Model Generalisation of an Urban Street Network", 5th AGILE Conference on Geographic Information Science, Palma, Spain, 25-27 April

- Harrie L., Weibel R. (2007) “Modelling the overall process of generalization” in: Mackaness W. A., Anne Ruas A., Sarjakoski L. T. (Editors), *Generalisation of geographic information: Cartographic modelling and applications*, Elsevier Science, 67-87
- Jones C., Bundy G., Ware M. (1995) “Map generalisation with a triangulated data structure”, *Cartography and Geographic Information Systems*, 22 (1), 55-69
- Mackaness W. A., Perikleous S., Chaudhry O. Z. (2008) “Representing Forested Regions at Small Scales: Automatic Derivation from Very Large Scale Data”, *The Cartographic Journal*, 45 (1), 6-17
- Regnauld N. (2001) “Contextual Building Typification” In *Automated Map Generalization in Algorithmica*, 30, 312-333
- Savino S., Rumor M., Lissandron I. (2009), “Road junction generalization in large scale geodatabases”. In A. Krek, M. Rumor, S. Zlatanova, E. M. Fendel (Eds), *UDMS Annual 2009*, Taylor & Francis
- Savino S., Rumor M., Zanon M., Lissandron I. (2010), “Data enrichment for road generalization through analysis of morphology in the CARGEN project”, 13th ICA Workshop, 2010, Zurich
- Savino S., Rumor M., Canton F., Langiù G., Raineri M. (2011), “Model and cartographic generalization of the hydrography network in the CARGEN project”. In A. Ruas (Ed), *Advances in Cartography and GIScience*. Vol 1, Springer, 439-457
- Sester M. (2000) *Generalization Based on Least Squares Adjustment* In: ISPRS (ed.) *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*
- Shea K. S., McMaster R. B. (1989) “Cartographic generalization in a Digital Environment: when and how to generalize” *AUTO-CARTO*, 9th International Symposium on Computer Assisted Cartography, Baltimore, Maryland, April 2-7, 56-67
- Stoter J. (2010) “State-of-the-Art of Automated Generalisation in Commercial Software”, Report of EuroSDR projects, online: <http://www.eurosd.net/publications/58.pdf>
- Strahler A. N. (1952) “Hypsometric (Area-altitude) Analysis Of Erosional Topography”, in *Geological Society Of America Bulletin*, 63 (11), 1117-1142

Fruizione di modelli dati GIS 3D di ambiente urbano tramite Web Services

Andrea Scianna

ICAR C.N.R. (National Research Council -Italy), c/o DICA, viale delle Scienze, edificio 8, University of Palermo
90128 Palermo, Italy, Tel.+39 091 8031074, andrea.scianna@cnr.it

Abstract

Today are more and more required GIS applications based on full 3D data; fields like urban and town planning and pollution studies need 3D data, both for visualization purpose, as well as carry out many spatial analysis. Starting from these needs borns the idea to develop the research "Management and use of distributed 3D data by open source Web-GIS software" that is part of the Italian "PRIN 2007"* research project, aimed to build urban and suburban 3D models, and to interact with them using open source software only.

Buildings have been modeled upon the GIANT3D model (Geographical Interoperable Advanced Numerical Topological 3-Dimensional Model) developed in the research "PRIN 2004", regarding "Evolved structure of numerical cartography for Gis and Web-GIS".

Python scripts, activated by Blender, allow to store data into a spatial database implemented through PostgreSQL and PostGis, that could be a remote database somewhere on the net; all geometrical and topological information, implemented in the 3D model, are so transferred in PostGIS.

This information can be retrieved by Blender using other Python scripts, so Blender fully interacts, in by-directional way, with 3D data allocated in PostGIS. These data can be also accessed by many other clients, both directly using a database client, as using other protocols (like HTTP on the internet). Next step was to build a software server in order to supply a 3D web feature service WFS-OGC "like" permitting to access to 3D data through SOAP protocol on the basis of a request composed in XML.

The research end with building of an applet running on Internet browser, permitting to browse and query the 3D model of a city.

Riassunto

Oggi molti tipi di applicazioni richiedono che i dati contengano veri dati tridimensionali; campi come la pianificazione urbana e gli studi sull'inquinamento hanno bisogno di dati 3D, sia per scopi di visualizzazione, che per svolgere molte analisi spaziali. Dal manifestarsi di tali esigenze nasce l'idea dello sviluppo della ricerca "*Gestione e uso di dati distribuiti 3D open source web-GIS - fa parte progetto di ricerca italiano "PRIN 2007"*", finalizzata a costruire modelli 3D urbani e suburbani, e ad interagire con essi utilizzando solo software libero e open source sia per la costruzione e la strutturazione tridimensionale del modello 3D di ambiente urbano che per l'allocazione dei dati ed infine la sua fruizione.

Gli edifici sono stati modellati sul modello GIANT3D (Geographical Interoperable Advanced Numerical Topological 3-Dimensional Model) sviluppato nella ricerca "PRIN 2004", sulla "struttura

* PRIN 2007: "Interoperabilità e gestione cooperativa di dati geografici dinamici multidimensionali e distribuiti con strumenti GIS liberi e Open Source" – Principal investigator Paolo Zatelli.

* PRIN 2007: "Interoperabilità e gestione cooperativa di dati geografici dinamici multidimensionali e distribuiti con strumenti GIS liberi e Open Source" – Principal investigator Paolo Zatelli.

evoluta di cartografia numerica per GIS e Web-GIS".

Gli script di Python, attivati dal software Blender, permettono di archiviare tutte le informazioni geometriche e topologiche in un database spaziale, che potrebbe essere un database remoto da qualche parte in rete, tramite PostgreSQL e PostGIS.

Queste informazioni possono essere recuperate da Blender con altri script Python, in tal modo Blender interagisce pienamente con i dati 3D allocati in PostGIS sia in lettura che in scrittura. Questi dati possono essere accessibili anche da molti altri client, sia direttamente che tramite un client di database, che tramite l'utilizzo di altri protocolli (come HTTP su Internet). Il passo successivo è stato quello di costruire un server in grado di rendere disponibile un servizio WFS like 3D per accedere ai dati eseguendo una richiesta tramite protocollo soap formulata come sequenza XML.

La sperimentazione illustrata si è conclusa con la realizzazione di un'applet funzionante con i browser web tale da visualizzare ed interrogare tramite in remoto tramite Internet un modello 3D dell'ambiente costruito.

Introduzione

L'attività di ricerca "Aspetti di gestione e fruizione WebGis di dati tridimensionali distribuiti con strumenti Open Source", fa parte del progetto: Interoperabilità e gestione cooperativa di dati geografici dinamici multidimensionali e distribuiti con strumenti GIS liberi e Open Source. Essa è stata sviluppata secondo 3 linee principali;

- studio dell'ulteriore estensione del modello GIANT con l'aggiunta della descrizione del terreno, qui non trattato;
- studio per l'allocazione di informazioni geografiche 3D create con un software CAD/modellazione_solida, in un database relazionale per applicazioni geografiche gestito da PostgreSQL+PostGIS;
- studio per la realizzazione di un visualizzatore 3D in grado di permettere la consultazione grafica 3D e alfanumerica di informazioni geografiche di un predefinito modello, allocate in un file GML3 o in un database relazionale PostGIS.

Allocazioni di informazioni geografiche 3D in un database relazionale

La modellazione 3D e l'archiviazione dei dati in un Relational Database Management System con estensione spaziale, tramite software CAD e/o di modellazione solida è stata una delle fasi più complesse del progetto.

Sono stati esaminati diversi software Free e Open Source per la modellazione tridimensionale, con l'obiettivo principale di indagare sulla loro capacità nel costruire modelli tridimensionali, sulle possibilità di personalizzazione tramite un linguaggio di programmazione e sulla possibilità di trasferire i dati del modello tridimensionale insieme con gli attributi, che qualificano gli oggetti geometrici o complessi di oggetti geometrici come oggetti geografici, in un database geografico gestito da un RDBMS Open Source con estensione spaziale.

Per l'aspetto di modellazione del mondo reale sono stati in particolare oggetto di test i software K-3D (www.k-3d.org), Wings3d (www.wings3d.com), Blender (www.blender.org).

Dall'esame approfondito dei software sopra citati, è emerso che il più adatto per gli scopi prefissati era Blender. Ciò alla luce del fatto che Blender è un software di modellazione 3D Open Source molto potente, ben documentato, dotato di funzioni avanzate di modellazione, disponibile su molti sistemi operativi.

In Blender sono disponibili una vasta gamma di oggetti 3D (mesh poligonali, NURBS, curve di Bezier, B-spline, metaball,...).

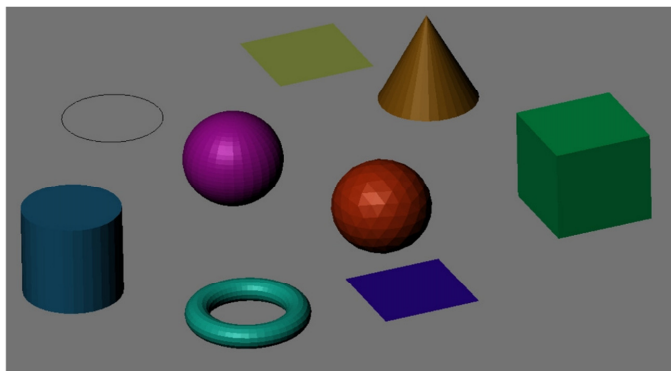


Figura 1 - Primitive in Blender

Una caratteristica fondamentale di Blender, è la possibilità di utilizzare script Python, dei veri e propri programmi, che funzionano come estensioni dello stesso Blender e permettono di effettuare numerose operazioni non incluse fra quelle standard. Una delle principali difficoltà nell'utilizzo di Blender, così come avviene per quasi tutti i software CAD, è la trasformazione delle primitive geometriche tipiche dei CAD in quelle dei tipiche dei GIS; Blender utilizza primitive di tipo "Mesh", "Curve" e "Surface". Per definire geometricamente delle entità geografiche è comunque possibile utilizzare primitive complesse del modellatore: è il caso ad esempio di una spline (o una NURBS) costituita da un unico punto o un paio di punti soltanto, per descrivere rispettivamente un punto o una linea. Quando poi ha luogo la scrittura sul database geografico, tramite gli script Python, gli oggetti o primitive geometriche Blender vengono archiviate nelle tabelle del database previa conversione nelle corrispondenti primitive GIS (nel caso specifico quelle aventi conformazione simile e compatibili in termini di archiviazione con il database geografico). L'estensione geografica del software di database relazionale permette infatti di allocare nelle tabelle e campi del DB alcuni tipi predefiniti di primitive geometriche atte a rappresentare gli oggetti territoriali.

Nei CAD o nei Software di modellazione solida inoltre, tranne qualche eccezione, ai diversi oggetti geometrici non sono attribuibili le informazioni sui sistemi di riferimento geografico; nel caso specifico, il Sistema di Riferimento Geografico può essere definito in Blender come attributo di default di ogni primitiva geometrica che rappresenta un oggetto geografico, quindi allocato nelle tabelle del DB con lo script python.

Interazione tra Blender e i geodatabase utilizzando script Python

I database consentono generalmente di gestire grosse moli di dati archiviati sulle memorie di massa con tecniche di accesso diretto alle informazioni, gestendo efficientemente i diversi accessi, con diversi utenti contemporaneamente, ognuno con le relative autorizzazioni. Il gestore di database carica in memoria solo la parte dei dati consultata al momento a differenza dei software CAD che caricano tutti i dati che fanno parte del progetto in memoria centrale. I software GIS, dei quali un componente fondamentale è il gestore di database, si comportano sostanzialmente come i gestori di database.

Il problema da risolvere era come trasferire i dati geometrici e gli attributi, definiti in Blender per caratterizzare gli oggetti geometrici come geografici, nelle tabelle del database geografico.

A tal fine, è stata condotta un'ampia ricerca bibliografica, da cui è emerso che, per quanto si è avuto modo di apprendere, a livello internazionale, l'allocazione di dati 3D era stata sperimentata precedentemente solo con il database server MySQL e solamente nell'ambito di due progetti: il primo denominato "Blenderpeople", il secondo un progetto beta, curato da Nathan Letwory sviluppatore di Blender.

Sulla base di quanto fatto precedentemente con MySQL nei due progetti di cui prima, si è sperimentata analoga tecnica di archiviazione dei dati con il database server Postgresql e PostGIS

(estensione per database geografici di PostgreSQL).

Per permettere l'interazione tra Blender e Postgresql son stati scritti dei moduli in Python, che allo stato attuale permettono di:

- esportare oggetti definiti con Blender all'interno del database PostGIS;
- leggere oggetti allocati nel database PostGIS
- far ridisegnare a Blender tali entità (punti, linee, poligoni) eseguendo la conversione tra oggetti geometrici la cui scrittura è ammessa dal gestore di database e i corrispondenti oggetti utilizzabili in Blender. In relazione a ciò, poichè Blender non gestisce direttamente punti e linee, i punti sono disegnati come una curva di Bezier con il solo punto di partenza, mentre le polilinee sono disegnate come una curva di Bezier con curvatura nulla tra i vertici.

L'archiviazione delle entità geometriche e degli attributi (ovvero degli oggetti geografici) nel database si avvale delle funzioni per convertire il blocco dati da scrivere nel database da WKT (*Well Known Text*) a WKB (*Well Known Binary*) e viceversa.

Una volta messo a punto il sistema di archiviazione si è passati a studiare le possibilità di archiviazione delle relazioni topologiche fra le primitive geometriche necessarie per costruire oggetti geometrici complessi quindi oggetti geografici. Questo al fine di permettere ad esempio l'archiviazione di edifici caratterizzati da oggetti 3D elementari che possono rappresentare componenti edilizi e parti di edifici, come pareti, parti di coperture, contorni a terra, aree di sedime, zone di un edificio anche aventi consistenza di subalterni catastali (nel modello Giant è prevista la possibilità di definire partizioni orizzontali di edifici collegabili a record contenenti informazioni catastali).

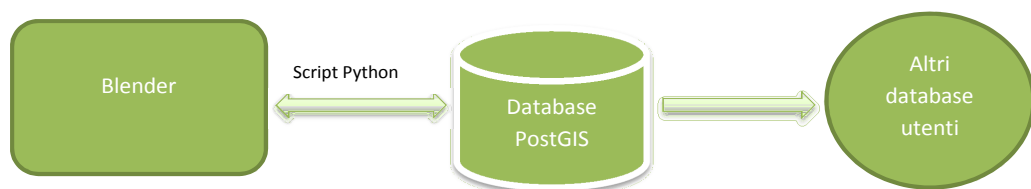


Figura 2 - Relazioni tra dati e software nel nostro progetto

In relazione alla scrittura di dati geometrici strutturati topologicamente sono stati in particolare sperimentati due modelli:

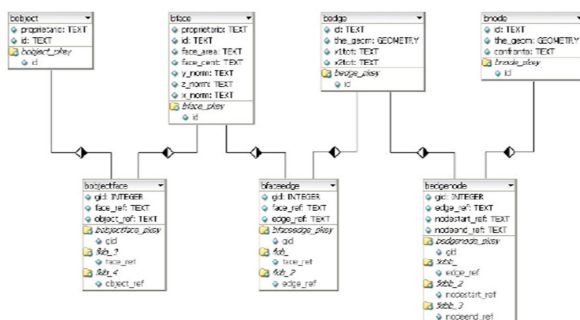


Figura 3 - Schema che utilizza elementi quad

- il primo nel quale le superfici (il modello GIANT è fortemente basato sulla costruzione di solidi tramite elementi a livello di complessità decrescente) hanno conformazione triangolare;
- il secondo nel quale le superfici (ad esempio elementi parete di edifici) sono costituiti da elementi geometrici a conformazione quadrilatera (quad).
Il modello a triangoli dopo la sua sperimentazione è stato abbandonato perché sostituibile con il successivo modello.

Il modello con elementi quadrilateri è un po' più complesso poiché permette di descrivere un solido come insieme di facce quadrilatere a loro volta costituiti da edge le quali sono ognuna definite tramite nodi (terminazioni degli edge). Tutto ciò viene posto in essere tramite quattro tabelle di relazione. E' questo un modello geometrico topologico aderente al modello GIANT. Le funzioni anche in questo caso non sono definite sotto l'aspetto dell'interfaccia, ma hanno assolto bene il loro compito ai fini della sperimentazione.

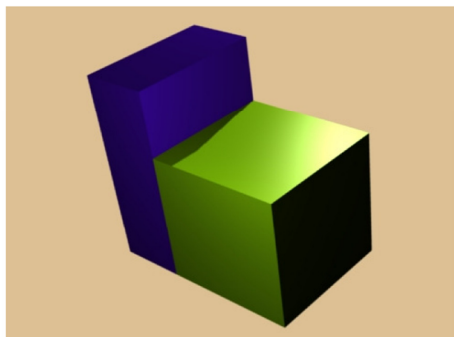


Figura 4 - Due edifici contigui

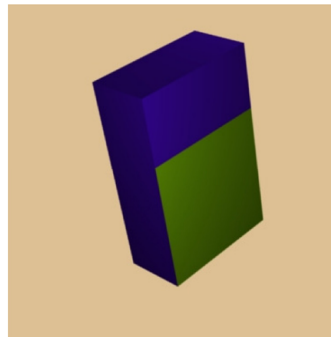


Figura 5 - L'edificio più alto con il muro in comune

Le funzioni sviluppate permettono sia di trasferire il modello dati da Blender verso il database geografico, che la procedura inversa cioè il caricamento in Blender del modello grafico archiviato nel database ai fini di una sua modifica. A tale scopo ogni oggetto archiviato è caratterizzato da un identificatore unico (UUID).

Il risultato di questa fase permette di affermare che:

- è possibile disegnare ambienti urbani 3D con software di modellazione solida come Blender;
- è possibile trasferire le informazioni geometriche e topologiche nonché le informazioni semantiche che caratterizzano oggetti geometrici come oggetti geografici in tabelle gestite tramite un database server relazionale dotato di estensione per la gestione di database geografici (cosiddette estensioni spaziali).

Realizzazione di un visualizzatore 3D in grado di visualizzare informazioni geografiche di un predefinito modello

Questa fase della ricerca aveva come scopo la creazione di un'applicazione client-server in grado di supportare richieste basate su un Web Feature Service 3D WFS (cioè simili al WFS OGC ma valide per un modello tridimensionale) e di un visualizzatore operante come applet funzionante su Internet browser, supportata dal WFS3D fornito dal server, in grado di permettere la consultazione delle informazioni strutturate secondo il modello GIS 3D GIANT ed archiviate nel database geografico.

Il modello *GIANT* supportato da uno *schema file* prevede sei classi o entità astratte che sono necessarie per ricostruire un ambiente 3D del mondo reale. Esse sono:

1. _Costruction.
2. _TransportationInfrastructure.
3. _Vegetation.
4. _Hydrographicentity.
5. _Reliefmap.
6. _NetworkService.

Come esempio è stata implementata solo la classe Costruction definita all'interno di GIANT.

A partire dall'entità Costruction si è creata una struttura PostGis per contenere la geometria relativa ad un'entità tenendo in considerazione le relazioni topologiche fornite da GML 3.1 .

Dal lato server si ha un DataBase software server basato su Postgresql+Postgis implementato secondo lo schema GIANT3D considerando tutti i vincoli e le relazioni fra le entità geografiche che compongono il modello stesso.

Inoltre vi è un application server che fornisce le operazioni indicate dalle specifiche WFS OGC cioè implementa il web service geografico 3D, estrae i dati dal database in base alle richieste ricevute e presenta i dati secondo lo schema GIANT3D.

Lato Client (browser internet) c'è un Applet Web che costituisce il visualizzatore - basato su X3D - in grado di connettersi ad un servizio WFS3D che restituisce i dati in GIANT3D. Di conseguenza i dati vengono trasformati in X3D e visualizzati nell'interfaccia grafica. Il WFS3D rende disponibili tre funzioni fra quelle previste dal WFS OGC classico, che sono:

1. GetCapabilities.
2. DescribeFeatureType.
3. GetObject.

GetCapabilities è la funzione che descrive le funzionalità del servizio. Indica le operazioni che possono essere eseguite e elenca i tipi di dati che sono supportati.

DescribeFeatureType è la funzione che descrive i tipi supportati dal servizio. Nel caso del WFS3D descrive i tipi previsti nel modello GIANT3D.

GetObject è equivalente a GetFeature del WFS classico con la differenza che in WFS3D vengono restituiti oggetti GIANT3D.

WFS3D è basato su tecnologia J2EE ed è implementato su Apache TOMCAT 6.0 su piattaforma J2EE_5. Il punto di accesso del servizio è una servlet, scritta in Java, che smista le varie richieste al componente che fornisce l'operazione o funzione richiesta.

Il servizio gestisce delle richieste HTTP, provenienti dal browser internet, secondo le specifiche OGC. Le richieste sono tipo GET e POST. Le richieste tipo GET adottano la modalità KVP (Key Value Pair) con la seguente sintassi name=value&.

L'implementazione è stata eseguita con Eclipse Galileo 3.5 Enterprise Edition. L'architettura del servizio è composta da cinque oggetti.

1. L'oggetto Service.
2. L'oggetto GetCapabilities.
3. L'oggetto DescribeFeatureType.
4. L'oggetto GetObject.
5. L'oggetto RequestUtil.

L'oggetto Service è la servlet che fornisce il servizio. Riceve tutte le richieste che gli arrivano dalla rete. Attraverso il RequestUtil individua l'operazione richiesta effettuando il parsing della richiesta e la inoltra all'oggetto corrispondente. Una volta ottenuta la risposta, la inoltra sulla connessione HTTP stabilita dalla richiesta.

Come indicato nei paragrafi precedenti il servizio lavora attualmente con 3 classi di oggetti geografici:

1. Building.
2. BuildingGroup.
3. Artefact.

GetObject costruisce la query ed attraverso driver JDBC si connette al Database PostGis. La prima query individua gli oggetti GIANT3D. Dopo aver individuato gli oggetti che soddisfano la richiesta si

eseguono le query per la ricostruzione geometrica. In particolare si individuano i bounded dell'oggetto che sono:

1. Wall.
2. Roof.

Oltre ai Wall e Roof si individuano le parti orizzontali che sono i piani che costituiscono l'oggetto e vengono chiamati *orizzantalPart* nel modello GIANT.

Per ogni oggetto vengono eseguite diverse query, che restituiscono i dati relativi a Wall, Roof e OrizzantalPart del Building. Queste entità corrispondono alle facce di un solido e ognuna di essa fa riferimento a una riga Bface. Ogni riga Bface è una relazione topologica face delle specifiche GML. Come da specifiche GML ogni face è composta da Edge e ogni Edge è composta da node che sono costituiti da Point.

Per mezzo di query a cascata si ricavano quindi i punti che appartengono a un solido e tutte le relazioni topologiche che permettono di individuare gli edge e le face che compongono il solido. In questa fase viene ricostruito l'oggetto, verificando anche l'ordine di connessione dei vari edge assegnando loro un verso, in modo da avere i nodi correttamente connessi. Una volta individuati gli edge di una 'face' bisogna stabilire l'orientamento della 'face' per stabilire la parte interna ed esterna della faccia. Per ricavare il verso si applica la regola della mano destra considerando la normale alla faccia che viene estratta dal database PostGis.

A questo punto si sono ricavati tutti gli elementi per ricostruire una scena GIANT3D. Il GIANT come è stato detto in precedenza è un application schema basato su GML. Il GML 3.1 fa uso di XLink il quale fornisce gli strumenti necessari per linkare gli elementi di un documento XML evitando ripetizioni di dati già presenti.

Per concludere, la piattaforma del servizio può essere vista come composta dai seguenti componenti:

1. Una servlet su Apache Tomcat 6.0 che fornisce l'accesso http.
2. 4 moduli java che eseguono operazioni del servizio.
3. Driver JDBC a supporto della connessione PostGis che contiene le istanze GIANT3D.
4. API JDK GeoTool per l'analisi delle richieste.

Applet Viewer WFS3D

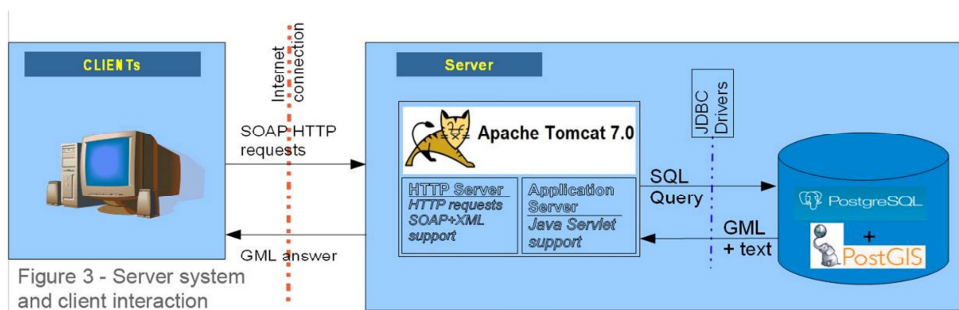


Figure 6 – Sistema di interazione client -Server

Utilizzando le librerie Java Xj3d è stata realizzata un'applet in grado di connettersi ad un WFS3D e visualizzare la scena 3D GIANT.

L'applet, con l'utilizzo del componente Swing Java JTabbedPane, è diviso in 3 schermate accessibili tramite delle linguette dell'interfaccia:

- Browser.
- GetObject WFS3D.
- Other Operations.

Nella schermata browser vengono visualizzati sia il modello 3D del mondo reale che i dati relativi (struttura del modello e attributi).

Costruito il filtro WHERE desiderato la risposta viene inviata. La risposta XML ottenuta, nel linguaggio GML3, è compatibile con GIANT. Affinché venga visualizzata dal browser X3D l'applet esegue una operazione di trasformazione da XML a X3D.

Il visualizzatore è dotato di tutti gli strumenti di navigazione di una scena 3D attivati dai pulsanti in basso nel visualizzatore. Le funzioni sono: zoom, panning, rotazione e ecc...

Nella schermata Browser ci sono tre aree. L'area di visualizzazione è posizionata nella parte destra. Nella parte sinistra ci sono due aree di testo e delle check box per l'attivazione di opzioni di visualizzazione della scena con le LineSet X3D (Wire Frame) o di Oggetti in trasparenza.

L'area di testo in alto a sinistra contiene un albero JTree che permette di analizzare la struttura della scena con i suoi relativi oggetti.

L'area di testo in basso permette di visualizzare gli attributi di ognuno degli oggetti geografici selezionati nell'area di testo superiore.

Il visualizzatore permette di analizzare gli oggetti verificando la strutturazione delle facce che lo compongono ed identificare parti interne all'oggetto.

La terza schermata Other Operations è utile per verificare il funzionamento del servizio WFS3D. In essa è possibile connettersi ad un servizio WFS3D per l'esecuzione delle operazioni GetCapabilities e DescribeFeatureType.

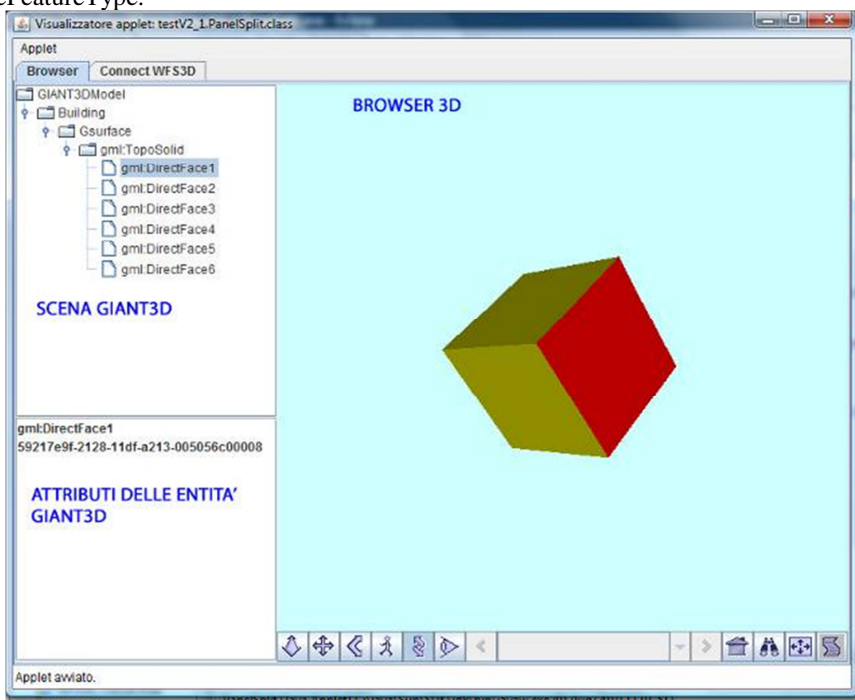


Figure 7 - Visualizzazione di un modello 3D semplificato

Conclusioni

Il progetto di ricerca illustrato dimostra che è possibile realizzare sistemi di visualizzazione GIS 3D basati su modelli cartografici, implementati secondo uno schema WSD compatibile con GML3 OGC, i quali possono anche interrogare la banca dati geografica implementata in accordo al modello cartografico e contenente anche delle relazioni topologiche sia fra gli oggetti geometrici che fra gli

oggetti geografici (scomposizione a diversi livelli e componenti).

Sono stati utilizzati, in accordo a quanto proposto nel progetto di ricerca, software liberi ed open source.

Ottimi risultati sono stati ottenuti utilizzando software libero ed *open source* per modellare e memorizzare i dati geografici. L'uso di Blender per costruire oggetti tridimensionali permette di sfruttare appieno questo potente software. D'altra parte, il database PostGIS ha molte caratteristiche ed è in grado di allocare e gestire correttamente grandi quantità di dati come quelli geografici.

Gli script di Python si comportano come connettore tra questi software, che permette una buona interazione bidirezionale.

Ulteriore passo previsto è lo sviluppo di una nuova parte di sistema tale da permettere l'archiviazione di dati provenienti da sensori posizionali relativi ad utenti presenti all'interno degli edifici e la loro visualizzazione dinamica all'interno del modello.

Riferimenti bibliografici

Arens, C., J. Stoter and P. van Oosterom, (2005). "Modelling 3-D spatial objects in a geo-DBMS using a 3D primitive". *Computer & Geosciences*, Volume 31,2, pp. 165-177.

Foley, J., van Dam, A., Feiner, S. & Hughes, J., (1995): *Computer Graphics: Principles and Practice*. Addison Wesley, 2nd Ed.

Khuan, C.T. and A. Abdul-Rahman, (2006). "0D feature in 3D planar polygon testing for 3D spatial analysis". *Geoinformation Science Journal*, Vol. 6, No. 1, pp 884-92.

Khuan, C.T., A. Abdul-Rahman and S. Zlatanova, (2008). "3D Solids and Their Management In DBMS". *Advances in 3D Geoinformation Systems*, Springer Berlin Heidelberg, pp. 279-311.

Open Geospatial Consortium Inc. - Web 3D Service - OGC™ document: OGC 05-019, date: 2005-02-02, Version: 0.3.0, Category: OGC™ Discussion Paper, Editors: Udo Quadt, Thomas H. Kolbe

Scianna A., Ammoscato A., Corsale R. (2008) – "GIANT3D: experimentations on a new 3D data model for GIS" – Proceedings of XXI ISPRS CONGRESS - WgS IV/1, BEIJING, July 2008, issn 16821750, CRC Press (Taylor & Francis Group);

Scianna A., Ammoscato A. (2010) – "3D GIS DATA MODEL USING OPEN SOURCE SOFTWARE", in: ISPRS Archive Vol. XXXVIII, Part 4-8-2-W9, "Core Spatial Databases - Updating, Maintenance and Services – from Theory to Practice. Haifa, Israel, 15-17 March, 2010, HAIFA: University of Haifa, vol. ISPRS Archive Vol. XXXVIII.

Scianna A. (2010). "Experimental studies for the definition of 3D geospatial web services". In: proceedings of webmgs 2010 - 1st International workshop on pervasive web mapping, geoprocessing and services su DVD rom. Como - Italy, 26-27 agosto 2010

Yanbing, W., W. Lixin, S. Wenzhong and L. Xiaomeng, (2006). "3D Integral Modeling for City Surface & Subsurface". *Innovations in 3D Geo Information Systems*, Springer Berlin Heidelberg, pp. 95-105.

Zlatanova, S., (2006). "3D geometries in spatial DBMS". *Innovations in 3D Geo Information Systems*, Springer Berlin Heidelberg, pp. 1-14.

Sistema informativo trasporto rifiuti trasfrontalieri della Regione Lombardia - Semplificazione nella P.A. e tracciabilità rifiuti con GPS

Dario Sciunnach (*), Giuseppina Beduschi (*), Luca Grimaldi (**),
Gianni Farinola (***), Giulia Conforto (***), Ivan Allevi (****)

- (*) Regione Lombardia, D.G. Territorio e urbanistica, Struttura Autorizzazioni e innovazione in materia di rifiuti
Piazza Città di Lombardia 1, Milano, +39.02.67656706, dario_sciunnach@regione.lombardia.it
(**) ERSAF, Struttura Montagna e Ricerca Applicata, Via Melchiorre Gioia 72, 20125 Milano,
+39.02.679716406, luca.grimaldi@ersaf.lombardia.it
(***) Computer Solutions S.p.A., Via Toffoli 21, 30175 Marghera (VE), +39.041.2582001, farinola@csgroup.it
(****) Allix S.r.l., Vicolo Molino 2, 21052 Busto Arsizio (VA), +39. 0331.324656, info@allix.it

Riassunto

Nel 2006 Regione Lombardia ha avviato un processo di dematerializzazione delle pratiche e monitoraggio dei mezzi adibiti al trasporto e allo smaltimento dei rifiuti speciali in Lombardia, coinvolgendo in una prima sperimentazione gli operatori abilitati al trasporto transfrontaliero.

Il sistema S.I.T.T. sviluppato e gestibile interamente online, è costituito da due componenti:

- a) S.I.T.T. WEB, che permette la creazione e la gestione delle pratiche con relativa pianificazione del viaggio;
- b) Modulo di monitoraggio e controllo in tempo reale del movimento dei mezzi, ed eventuale elevazione di allarmi in caso di difformità tra percorso pianificato e percorso effettuato.

L'accesso al sistema è possibile da parte di qualsiasi utente accreditato.

Questa modalità di gestione delle pratiche per l'esportazione dei rifiuti consente di ottimizzare il flusso operativo, coinvolgendo direttamente i soggetti interessati nell'espletamento delle attività. La procedura si avvale di metodologie già collaudate in altri settori della P.A. della Regione Lombardia, in particolare per quanto riguarda l'utilizzo della Carta Regionale Servizi (CRS) e la protocollazione elettronica dei documenti. Il sistema informativo online consente la completa "dematerializzazione" delle pratiche.

Il sistema di monitoraggio dei tragitti utilizza un sistema composto da:

- apparato GPS a basso costo;
- sistema di trasmissione dati GPRS;
- tecnologia ZigBEE per il monitoraggio dei rimorchi.

Prevede un controllo in tempo reale dei tragitti acquisendo le coordinate stimate dal ricevitore installato a bordo veicolo ed un controllo successivo più accurato e difficilmente manipolabile in post elaborazione confrontando i dati "grezzi" registrati a bordo con dati di stazioni GNSS permanenti di cui è nota la posizione.

Abstract

In 2006, Regione Lombardia has started the development and testing on the process of document dematerialisation and monitoring of vehicles for the transport and disposal of hazardous waste in Lombardy and cross-border transportation.

The system S.I.T.T., developed and managed entirely online, consists of two main components:

- a) S.I.T.T. WEB, which allows document creation and management with its schedule of the trip;
- b) Monitoring system, which allows the real-time control of the movement of vehicles, and raises the alarms in the event of discrepancy between the planned and real route;

Access to the system can be given to each authorized user.

This mode of document management (for the export of waste) optimizes workflow, directly involving stakeholders in carrying out activities. The procedure uses methods that have proved successful in other areas of the regional government of Lombardy, in particular as far as the use of the Regional Charter Services (CRS) and the logging of electronic documents are concerned. The online information system allows the complete "dematerialization" of documents.

The monitoring system includes:

- GPS device low cost;
- GPRS data transmission system;
- ZigBee technology for monitoring trailers.

It provides a real-time control of routes by acquiring the coordinates estimated by the receiver installed on board the vehicle and a subsequent control more accurate in post processing by comparing the "raw" GPS data with data provided by GNSS permanent stations.

Introduzione

Il sistema S.I.T.T., SISTEMA INFORMATIVO PER I TRASPORTI TRANSFRONTALIERI DI RIFIUTI, è costituito da un'applicazione web-based destinata ai soggetti che la normativa vigente obbliga a istruire e autorizzare le pratiche di spedizione transfrontaliera di rifiuti.

L'iniziativa di istituire S.I.T.T., dematerializzando la documentazione relativa al trasporto transfrontaliero di rifiuti, si basa sull'art. 26 del Regolamento CE n. 1013/2006. La normativa definisce quali rifiuti sono soggetti alla disciplina prevista

La normativa si applica alle spedizioni di rifiuti fra stati membri e definisce:

- i soggetti coinvolti: notificatore, produttore, destinatario, autorità competente;
- la procedura da seguire per la spedizione: modulo 1/A (notifica), modulo 1/B (modello di accompagnamento), garanzia finanziaria;
- i rifiuti coinvolti: speciali e pericolosi.

Dal 2001 Regione Lombardia utilizza un sistema inizialmente in tecnologia client server ed in seguito in architettura WEB che informatizza l'intera procedura. Il sistema permette la raccolta e l'elaborazione dei dati gestiti dematerializzando i documenti e le comunicazioni necessarie (notifiche e fideiussioni), la stampa dei bollettini 1/B e l'elaborazione delle statistiche annuali per il ministero.

Architettura

S.I.T.T. è un sistema web-based per la compilazione dei documenti inerenti le pratiche di esportazione dei rifiuti. L'architettura di sistema è esemplificata nella successiva Fig. 1.

Le pratiche sono compilate via WEB su un DB server e un WEB server ospitati presso la struttura di Lombardia Informatica. Un GIS server per la georeferenziazione delle pratiche è sviluppato per conto di ERSAF e ospitato attualmente presso la struttura di Allix srl. È stato anche utilizzato un ambiente di sperimentazione della protocollazione elettronica della Regione Lombardia.

I tragitti dei mezzi coinvolti nel trasporto sono monitorati da appositi dispositivi montati a bordo e comunicanti con la centrale di controllo: la tracciatura è effettuata tramite la rete GPS della Regione Lombardia.

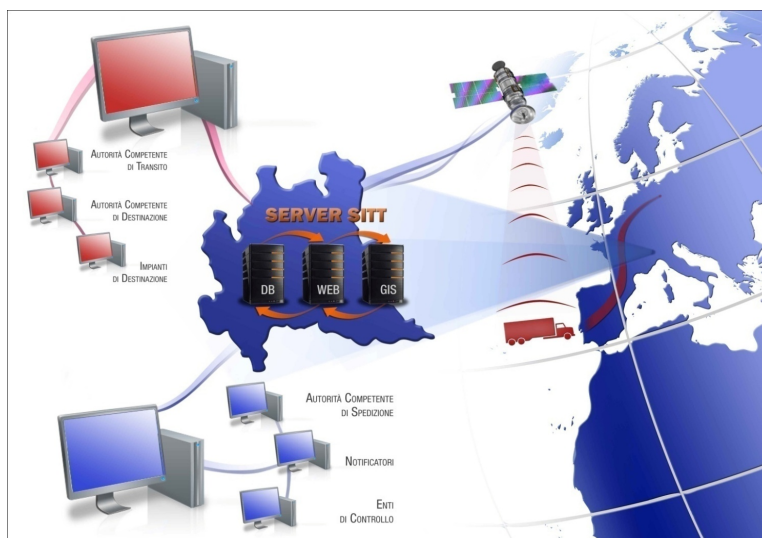


Figura 1 – Schema dell'architettura.

Funzionalità Standard

L'applicazione si appoggia ad una banca dati generale che contiene i dati di tutti i soggetti. Di questi, ciascun utente ha l'autorizzazione a visualizzare solo quelli dei soggetti che ha aggiunto alla propria anagrafica. L'anagrafica viene popolata ricercando i soggetti per codice fiscale e inserendoli nelle pratiche di propria competenza, o eventualmente aggiungendo nuovi soggetti, che potranno essere accessibili tramite il codice fiscale anche ad altri utenti.

L'applicazione facilita la compilazione rendendo accessibili alcune funzionalità solo dopo il completamento di altre attività necessarie. L'applicazione è organizzata in menù, sezioni, schede e sottoschede, ricalcando le modalità standard di funzionamento di un software gestionale: è quindi possibile inserire e modificare i dati relativi alle proprie pratiche, effettuare delle ricerche tramite opportuni criteri, navigare tra i dati estratti, selezionare i dati da liste tabellate, caricare nelle pratiche allegati e files provenienti dal proprio file system, il tutto tramite un'applicazione web-based, accessibile da qualunque computer sia in rete e possa navigare in internet.

Un'opportuna profilazione differenzia le modalità operative dell'applicazione in base al ruolo (notificatore, produttore, regione) dell'utente che sta operando e allo stato degli oggetti che sta compilando.

L'insieme dei dati è memorizzato nella web farm della Regione Lombardia, e quindi l'utenza non ha l'onere di preoccuparsi di salvataggi, backup e altre attività connesse alla gestione informatizzata dei dati, che sono invece centralizzate.

Ciclo delle pratiche e workflow

Lo svolgimento dei trasporti transfrontalieri di rifiuti soggetti alla compilazione dei moduli 1A e 1B si suddivide in tre cicli congiunti, relativi a tre tipologie di documenti: la notifica o modulo 1A, le fideiussioni e il documento di viaggio o modulo 1B. Ogni tipo di trasporto di rifiuto deve corrispondere ad una notifica distinta, ad essa possono essere associate più fideiussioni a garanzia di più viaggi ciascuna.

Il ciclo della notifica si avvia quando il soggetto notificatore richiede l'assegnazione di un numero IT, cioè di una notifica da compilare, alla Regione, la quale seleziona da un archivio di pratiche una nuova notifica e la assegna al soggetto richiedente. Al ricevimento del numero di notifica assegnato,

il notificatore si fa carico di compilare una lettera di ricezione e farla pervenire alla Regione, quindi procede alla compilazione della notifica inserendo i dati relativi ai soggetti coinvolti, al rifiuto trasportato e al viaggio, vi acclude gli allegati e la presenta alla Regione perché sia sottoposta a controllo. La Regione ha la libertà di effettuare controlli e richiedere integrazioni finché la notifica non sia compilata in modo soddisfacente e possa essere approvata. Il notificatore firma elettronicamente la notifica e la stampa. La Regione spedisce la notifica alle autorità competenti, annotando la data di invio. Dopo aver ricevuto dalle autorità estere le relative autorizzazioni, la Regione a sua volta autorizza la notifica. Il notificatore può utilizzare da questo momento in poi la pratica per appoggiarvi fideiussioni e documenti di viaggio, fino alla scadenza di validità della stessa.

Il ciclo della fideiussione richiede l'esistenza di una pratica di notifica autorizzata cui fare riferimento. Il notificatore inserisce la fideiussione di una notifica autorizzata e la sottopone al controllo della Regione. La Regione può approvare o meno la fideiussione, richiedere l'originale cartaceo, scrivere la lettera di congruità e inserire i viaggi. Nel caso in cui la fideiussione venga approvata, il notificatore la utilizza a copertura dei viaggi ad essa relativi, completati i quali richiede lo svincolo della fideiussione annullando ogni viaggio residuo. A quel punto la Regione richiede il benessere del NOE e autorizza lo svincolo della fideiussione.

Il ciclo dei viaggi richiede l'esistenza di una pratica di notifica autorizzata cui fare riferimento e di una corrispondente fideiussione approvata. I viaggi relativi ad una fideiussione vengono inseriti dalla Regione al momento dell'approvazione di questa. Il notificatore completa e stampa il modulo 1/B indicando la data di partenza presunta e lo invia alle autorità competenti. Immediatamente prima di effettuare il viaggio, il notificatore inserisce la targa del mezzo utilizzato e stampa il modulo 1/B completo. Il viaggio da questo momento è attivo.

Accesso al sistema, autenticazione forte e firma elettronica

L'autenticazione è un processo in cui un computer o un software, verifica l'identità di un altro computer o utente che vi accede attraverso una connessione. Il sistema S.I.T.T. prevede due livelli di autenticazione: debole e forte.

L'autenticazione debole avviene tramite l'inserimento delle credenziali, username e password ricevute al momento dell'accreditamento presso gli uffici della Regione. Questo tipo di autenticazione è utilizzato per accedere al sistema S.I.T.T. tramite la pagina di login e permette la lettura dei documenti di propria competenza, ma non lo scambio di documenti certificati e l'avvio dell'iter di notifica.

L'autenticazione forte è un tipo di identificazione che utilizza più fattori, in questo caso due. L'autenticazione forte utilizzata nel sistema S.I.T.T. unisce alle credenziali dell'autenticazione debole, l'uso di un dispositivo hardware per la lettura di un certificato elettronico: la CRS, Carta Regionale dei Servizi, la Carta Regionale dei Servizi distribuita da Regione Lombardia, o una CNS, Carta Nazionale dei Servizi, quale ad esempio la Carta d'identità elettronica. L'autenticazione forte viene richiesta per effettuare ogni tipo di modifica ai documenti di propria competenza, è quindi necessaria per avviare ed effettuare l'iter di notifica.

L'autenticazione forte avviene tramite un apposito servizio web, l>IDPC, messo a disposizione dalla Regione Lombardia, che consente di individuare in maniera inequivocabile l'utente che sta accedendo in quel momento al sistema tramite la propria carta regionale dei servizi o strumento equivalente: è quindi necessario che, in fase di registrazione, le aziende dichiarino quali operatori utilizzeranno l'applicazione per loro conto ed i relativi codici fiscali.

La firma elettronica non è una forma di autenticazione, ma un processo che permette di salvare un documento in un dato stato e da quel momento in poi verificare che questo non sia stato modificato indebitamente, cioè senza apporre detta firma. S.I.T.T. utilizza una firma elettronica in modalità offline. La firma elettronica viene richiesta in S.I.T.T. al completamento dei documenti di propria competenza, quali le autocertificazioni e le notifiche. Perché i documenti compilati dagli utenti possano essere considerati validi, devono essere firmati e protocollati.

Una volta terminata la compilazione di tutte le schede e degli allegati, la notifica è pronta per essere sottoposta al controllo della Regione. La Regione può richiedere l'integrazione della notifica con ulteriore documentazione, o modifiche alla documentazione presentata prima di concedere la propria approvazione. Approvata la notifica, il notificatore stampa una copia pdf del modulo 1A, la salva sul proprio terminale, la firma elettronicamente seguendo la procedura di firma forte che utilizza la CRS e ricarica il file tra gli allegati. Questa azione corrisponde alla presentazione ufficiale della notifica. Da questo momento la Regione ha tre giorni di tempo per inoltrare la notifica presentata alle autorità competenti, italiane ed estere.

La Regione registra la data di spedizione della notifica, la inoltra alle Autorità di Transito e di Destinazione e attende la loro approvazione. Le autorità competenti che ricevono copia della notifica fanno le opportune valutazioni, richiedono eventuali integrazioni e al termine approvano la notifica, timbrano i documenti ricevuti e li rimandano alla Regione, indicando la data di validità effettivamente concessa. Tale data di validità è quella che viene di seguito utilizzata per la gestione delle fidejussioni e dei viaggi.

Compilazione delle fideiussioni e relativa autorizzazione

L'inserimento delle fideiussioni è interamente a carico del notificatore. Solitamente il notificatore inserisce una fideiussione valida per tutta la durata della notifica, ma per un valore corrispondente a un numero limitato di viaggi, rispetto all'ammontare totale della notifica. Una volta effettuati tutti i viaggi associati alla fideiussione inserita, questa viene svincolata e si procede all'inserimento di un'altra fideiussione a copertura di altri viaggi. L'avvicinarsi delle fideiussioni continua fino alla conclusione della durata di validità della notifica o della quantità totale in essa indicata.

Il notificatore compila la fideiussione tramite la apposita maschera, indicandone gli estremi, l'importo ed altri dati specifici.

Una volta completata la compilazione della fideiussione, il notificatore la sottopone al controllo della Regione tramite l'apposita funzione.

Anche per l'iter di autorizzazione della fideiussione, la Regione può richiedere eventuali integrazioni. L'invio della copia cartacea della fideiussione è sempre necessario. Successivamente la Regione autorizza la fideiussione, emettendo la lettera di congruità: da questo momento il notificatore può gestire i viaggi.

[illegible]

Figura 3 – Maschera per la gestione della fideiussione.

L'attività di controllo della fideiussione da parte della Regione consiste nella generazione dei viaggi e dei moduli 1/B corrispondenti. I bollettini generati, riportano oltre alle eventuali annotazioni delle autorità coinvolte anche un'indicazione di conformità all'originale.

Integrazione con il sistema di protocollazione elettronica della Regione lombardia

EDMA è il sistema di protocollazione elettronica della Regione Lombardia. Ogni documento in ingresso o in uscita dalla Regione viene protocollato in EDMA. S.I.T.T. si interfaccia in maniera nativa con EDMA: i documenti inviati fra i diversi soggetti e la Regione Lombardia in S.I.T.T. vengono protocollati in EDMA.

La protocollazione in entrata riguarda documenti che dal notificatore vengono inviati alla Regione Lombardia, come ad esempio la Lettera di ricezione, le Autocertificazioni e la Notifica.

La protocollazione in uscita riguarda documenti che dalla Regione Lombardia vengono inviati al notificatore, come ad esempio la Lettera di invio delle credenziali e la Lettera di congruità.

Al fine di integrare S.I.T.T. con EDMA è stato necessario definire delle opportune classificazioni dei documenti inerenti la pratica e stabilire il modo in cui i documenti della pratica fossero visibili e gestibili una volta trasferiti in EDMA.

Il responsabile della procedura può firmare elettronicamente i documenti e provvedere alla protocollazione e all'inoltro degli stessi tramite mail proveniente dalla casella di posta certificata della Regione al notificatore.

Compilazione del modulo 1/b e attivazione viaggi

Quando la Regione approva la fideiussione sottoposta a controllo, genera contestualmente i viaggi coperti da quella fideiussione e i bollettini associati a tali viaggi.

Il notificatore quindi procede alla compilazione della sezione relativa ai viaggi, inserendo la quantità trasportata in quel viaggio, il numero di colli, la data di partenza e l'ora di partenza, il trasportatore che effettuerà il viaggio e il tragitto effettivo del mezzo: tale tragitto verrà in seguito raffrontato con quello effettivamente tracciato e monitorato dalla rete GPS della Regione.

L'attività di gestione del viaggio consiste in una fase iniziale di programmazione dello stesso, che deve avvenire al massimo tre giorni prima dell'effettiva partenza, dando comunicazione ufficiale alle autorità interessate. Il giorno effettivo della partenza il notificatore attiva il viaggio, genera una copia del modello 1B che accompagnerà il viaggio ed è pronta per essere stampata. Tale copia dovrà essere firmata elettronicamente ed allegata al programma. Contemporaneamente le informazioni relative ai mezzi utilizzati vengono comunicate al servizio di tracciabilità.

Il sistema di monitoraggio

Il S.I.T.T. ha previsto lo sviluppo, la realizzazione e la successiva gestione di un sistema di controllo e tracciatura, tramite l'implementazione della rete di stazioni GPS regionale, dei tragitti percorsi dai veicoli che trasportano rifiuti tossici dal territorio regionale verso territori extra nazionali.

Il monitoraggio avviene, per mezzo di ricevitori GPS a basso costo, rilevando i percorsi effettuati dai mezzi e confrontandoli con quelli previsti nel documento di movimento per le spedizioni di rifiuti transfrontalieri. La precisione del rilievo è garantita dall'utilizzo della tecnica del posizionamento relativo, grazie all'utilizzo dei dati della rete di stazioni permanenti GPS regionale (GPSLombardia – www.gpslombardia.it).

GPSLombardia – servizio di posizionamento GNSS della regione Lombardia è il servizio, gestito dalla Regione, che mette a disposizione dati GPS a supporto delle operazioni di georeferenziazione di punti, linee, superfici, per utenti pubblici e privati

La strumentazione di cui sono dotati i veicoli è costituita da un ricevitore GPS, in cui è integrato un sistema di comunicazione GSM/GPRS.

La struttura di controllo e tracciatura si basa su un sistema di localizzazione che impiega la tecnologia GPS per il rilevamento della posizione dei veicoli. La comunicazione delle informazioni di posizione avviene tramite un canale bidirezionale, tra il veicolo ed il centro di controllo, attraverso la rete di telefonia mobile GSM/GPRS.

Il monitoraggio dei veicoli e delle loro tratte è gestito dal centro di controllo, dotato di un software in grado di rappresentare geograficamente la posizione dei veicoli e di creare un database consultabile dall'organismo deputato, secondo criteri prestabiliti.

La soluzione software scelta ha il vantaggio di essere pienamente compatibile con i dati distribuiti dalla rete di stazioni GPS permanenti GPSLombardia, per ottenere un'elevata precisione della posizione e una certificazione del dato inviato.

Le caratteristiche principali consistono nella **gestione in tempo reale dei dati dei veicoli e del loro carico** e nel rendere queste informazioni **immediatamente disponibili ai soggetti autorizzati**.

L'apparecchiatura di cui sono dotate le unità mobili svolge, con l'ausilio dell'applicazione, la funzione di scatola nera, permettendo di registrare **con assoluta precisione e in tempo reale** diversi dati sensoriali, dando origine ad un **report "incorruttibile"** che documenta il viaggio e registra qualsiasi difformità o criticità.

Il sistema risulta quindi composto dal portale web per la gestione/smateralizzazione pratiche, dal modulo di comunicazione tra la gestione delle pratiche e la tracciatura dei veicoli e dal sistema di tracciatura. Questi moduli interagiscono secondo le modalità rappresentate dal seguente diagramma:

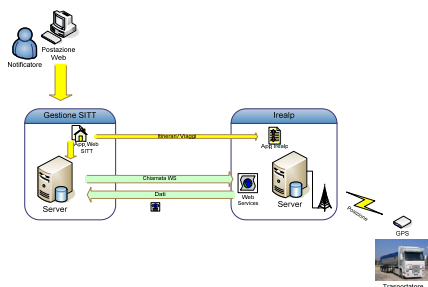


Figura 4 – Diagramma del sistema nel suo complesso (Portale Web e sistema di tracciatura).

Di seguito si riporta la descrizione dei singoli moduli rappresentati nel diagramma di Figura 4:

- Portale web per la gestione delle pratiche: al Notificatore viene messa a disposizione un'interfaccia web che consente di accedere, in maniera integrata, ai dati delle pratiche.
- Comunicazione tra la gestione delle pratiche e la tracciatura dei veicoli: la comunicazione avviene, in maniera trasparente rispetto all'utente finale, tramite il meccanismo dei *web Services*. In questa configurazione, il sistema di controllo e monitoraggio trasporti si fa carico di fornire canali di comunicazione bidirezionali (*web method*) che permettono di sincronizzare le informazioni in gestione; in particolare i *web services* consentono di:
 - sincronizzare le anagrafiche comuni (Notificatori e pratiche);
 - inviare al sistema i percorsi pianificati dal Notificatore;
 - inviare al sistema i viaggi assegnati dal Notificatore;
 - rilevare gli scostamenti tra percorso teorico e percorso reale effettuato dal trasportatore (Figura 5).
- Sistema di tracciatura: questo modulo consente di tracciare i percorsi realmente effettuati dal trasportatore. Il sistema, tra le varie funzionalità, permette di archiviare queste informazioni ed esegue dei confronti tra quanto dichiarato dal Notificatore e quanto effettuato dal trasportatore e ne evidenzia eventuali scostamenti.

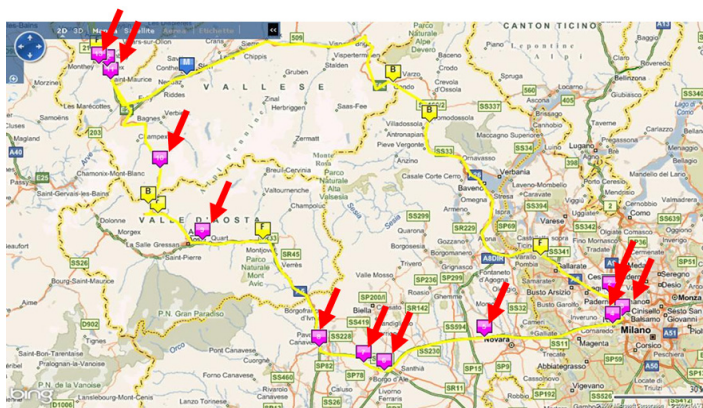


Figura 5 – Confronto tra tracciato pianificato (icone viola) e viaggio reale (icone gialle).

Sistema di tracciatura

Il sistema sperimentale prevede il monitoraggio di mezzi su cui è installato il dispositivo GPS che registra il percorso compiuto dal trasportatore. Lo storico dei percorsi, archiviati direttamente nella memoria del dispositivo GPS, viene scaricato periodicamente sui server di controllo.

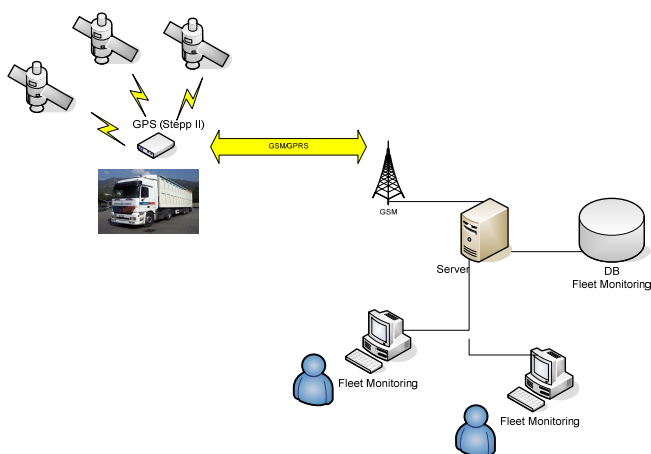
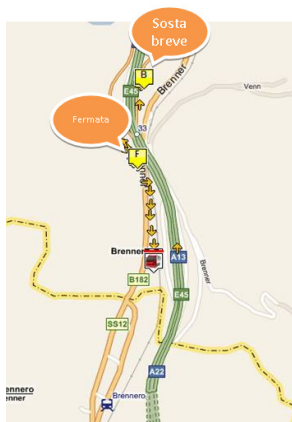


Figura 6 – Schema rappresentativo del funzionamento del sistema di tracciatura.

Il dato acquisito viene elaborato al fine di determinare le soste reali e la loro durata.



Registrazione soste

- Fermate (< 15 min)
- Brevi (tra 15 e 30 min)
- Medie (tra 30 e 60 min)
- Lunghe (oltre i 60 min)

Figura 7 – Elaborazione viaggio con calcolo delle soste.

I dati provenienti dalla tracciatura contengono al loro interno le letture satellitari grezze che, combinate con i dati provenienti dalle stazioni di terra di GPSLombardia, servizio di posizionamento GNSS, gestito da IREALP fino al 2010 e da ERSAF a partire dal 2001 per conto di Regione Lombardia, consentono di elaborare un nuovo dato di posizione (*postprocessamento*) ottenendo una precisione migliore. Inoltre il dato così elaborato viene utilizzato per validare le informazioni di posizione elaborate direttamente dai dispositivi GPS, installati a bordo dei veicoli, al fine di verificarne l'autenticità (meccanismo di certificazione del dato di posizione).

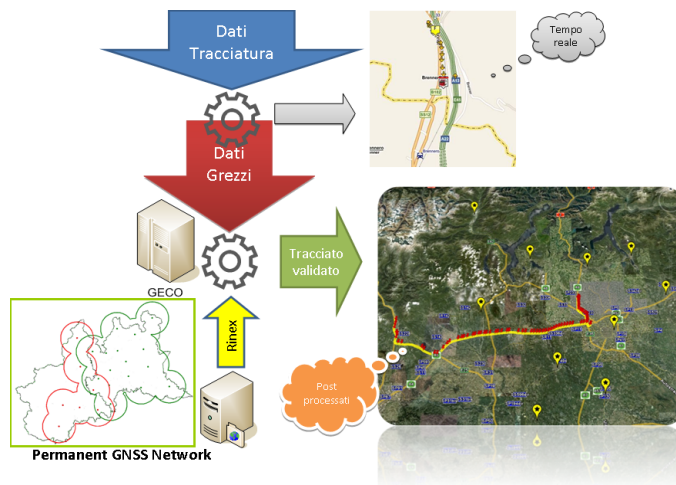


Figura 8 – Schema di funzionamento del motore di *postprocessamento* – nell'immagine in basso a destra è visibile un percorso composto dai dati di posizione elaborati direttamente dai dispositivi GPS a bordo dei veicoli (tracciato giallo), insieme al percorso prodotto dal *postprocessamento* (tracciato rosso).

Dispositivi hardware realizzati per il progetto

Le necessità di progetto hanno portato allo sviluppo di:

- Un dispositivo GPS adibito alla raccolta dei dati di posizione dei veicoli, con le seguenti caratteristiche: modulo GPS di ultima generazione (Sirf Star III); certificazione *auto motive*;

modulo per il rilevamento di un TAG rimorchio connesso tramite tecnologia ZigBee; ingressi / uscite analogico digitali; accelerometro su tre assi rilevamento spostamenti anche a motore spento; alimentazione a batteria interna/esterna per trasporto intermodale, senza alimentazione diretta da motrice; capacità di estrazione ed invio in centrale di letture satellitari grezze; antenna di piccole dimensioni facilmente installabile sotto il cruscotto.

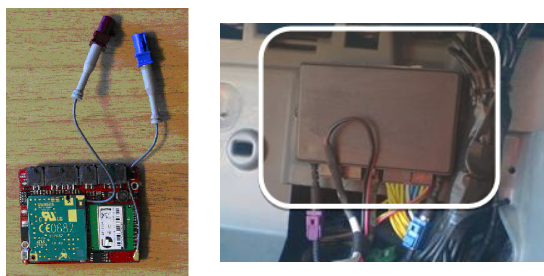


Figura 9 – Dispositivo GPS-GPRS (a sinistra motherboard del dispositivo, a destra dispositivo installato a bordo veicolo).

- Un dispositivo PND che consente all'autista di ricevere messaggi ed inviare segnalazioni alla centrale, come ad esempio: ritardi, guasti, ecc. Le caratteristiche principali di questo dispositivo sono: PND standard con schermo *touch screen* LCD; CPU di classe ARM 9; sistema operativo Windows CE 5.0.

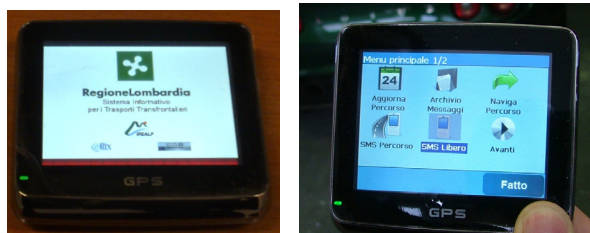


Figura 10 – Dispositivo LCD installato in cabina di guida.

- Un dispositivo TAG per rimorchio che consente di identificare in maniera univoca il rimorchio collegato alla motrice. In questo modo è possibile tracciare l'intero tragitto del rimorchio. Le caratteristiche principali di questo dispositivo sono: microcontrollore wireless ZigBee (2.4GHz); batteria interna agli ioni di litio di tipo militare; accelerometro triassiale.



Figura 11 – TAG ZigBee per rimorchio.

Ringraziamenti

Si ringraziano per la collaborazione GPS Lombardia, per il supporto fornito e per l'utilizzo dei dati, Roberto Chillemi, Giorgio Soldavini e Francesco Matonti per il prezioso contributo alla realizzazione ed alla gestione del sistema, i trasportatori che hanno reso disponibili i mezzi per la sperimentazione pratica ed i test sul campo.

Riferimenti bibliografici

Deliberazione Giunta Regionale 3 febbraio 2010 – n. 8/11175. “Attuazione delle modalità di gestione informatizzata delle notifiche per la esportazione dei rifiuti (moduli 1/A e1/B) attraverso l'utilizzo del SITT (Sistema informativo Trasporto Transfrontaliero di rifiuti)”. Bollettino Ufficiale Regione Lombardia, N. 7 Serie Ordinaria (15 febbraio 2010), p. 591

Nordic Council of Ministers (2010), “Digital applications and movement tracking forms according to EG-legislations 1013/2006”

Barsi J. A., Schott J. R., Palluconi F. D., Heider D. L., Hook S. J., Markham B. L., et al., (2003), “LANDSAT TM and ETM+ thermal band calibration”, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 29(2): 141–153. Cardellicchio N., Buccolieri A., Giandomenico S., Lopez L., Pizzulli F., Spada L., (2007), Organic pollutants (PAHs, PCBs) in sediments

Ottimizzazione delle pratiche colturali dei vigneti tramite l'uso di dati telerilevati acquisiti da piattaforme di prossimità

Alessandro Scordo, Mario Tulone, Salvatore Nizza, Vincenzo Pampalone
Vito Di Giuseppe, Andrea Borruso

Consorzio Ticonzero, Via Giovanni Di Giovanni 14, 90139 Palermo, Tel. (+39) 091 6023687, Fax (+39) 091 6023687
e-mail: ascordo@ticonzero.net, mtulone@ticonzero.net, snizza@ticonzero.net, vpampalone@ticonzero.net,
vdigiuseppe@ticonzero.net, aborruso@ticonzero.net

Riassunto

L'utilizzo di buone pratiche di gestione consente al viticoltore di ottenere un'uva di qualità, di ridurre i costi di produzione, di ottimizzare l'equilibrio qualità-quantità e di ottenere una determinata qualità in relazione all'obiettivo enologico. Inoltre, si deve tendere a ridurre la variabilità spaziale del vigneto che, dal punto di vista agronomico, rappresenta un fattore negativo perché impone l'adozione di soluzioni diversificate ed ostacola il raggiungimento di elevati standard qualitativi. L'uso congiunto di dati telerilevati acquisiti da piattaforme di prossimità, quali micro-droni e veicoli terrestri, e di informazioni puntuali relative alle principali caratteristiche del sistema pianta-suolo e dei parametri meteo-climatici, consentono l'ottimizzazione spaziale e temporale delle diverse pratiche colturali quali la concimazione, l'irrigazione, la defogliazione e la vendemmia; è inoltre possibile applicare tali tecniche, anche ai trattamenti di difesa contro le avversità, come quelle di natura parassitaria.

L'obiettivo del presente lavoro è quello di mettere a punto, per ciascuna pratica colturale del vigneto, un sistema ciclico di gestione suddiviso in tre fasi. La prima fase consiste nella determinazione dello stato di fatto del vigneto attraverso l'acquisizione di diverse tipologie di dati e la loro analisi, la seconda prevede la definizione degli interventi correttivi tramite l'uso di sistemi GIS e la loro applicazione in campo con tecniche a *ratio* variabile ed infine, si valuta la bontà degli interventi effettuati attraverso una nuova campagna di acquisizione di dati e confrontandoli con quelli iniziali.

Abstract

The best management practices allow the farmer to obtain high-quality grapes, reduce production costs, optimize the quality-quantity balance and reach a specific quality of wine. Also, we must aim to reduce the spatial variability of vineyard which is a negative factor from the agronomic point of view, because it requires diversified solutions, and hinders reaching high-quality standards.

Combined use of remote sensing data acquired from proximity platforms, such as micro-drones and ground vehicles, and timely informations on main features of the plant-soil-climate system and weather parameters, allows spatial and temporal optimization of the different agricultural practices such as fertilization, irrigation, defoliation and harvest. These techniques are useful also against adversities, such as the parasitic ones.

The aim of this paper is to develop, for each agricultural practice of the vineyard, a cyclical management system consisting of three phases. The first one determining the state of the vineyard by the acquisition of different data types and their analysis. The second one involves the definition of corrective actions through the use of GIS and their application with variable ratio techniques. Finally, evaluating the effectiveness of the interventions through a new data acquisition campaign and the comparison between current and initial data.

Introduzione

La variabilità spaziale all'interno di un vigneto dipende da molteplici cause (fisiologiche, stress idrici e nutrizionali, variazioni pedologiche, agronomiche e dei materiali di propagazione). E' stata sempre un problema di difficile gestione e, dal punto di vista agronomico, rappresenta un fattore negativo perché determina delle differenze vegetative e produttive che si ripercuotono anche sul prodotto finale, ossia, il vino (Lunelli, Rossetti, 2009).

L'efficienza delle aziende agricole può essere incrementata attraverso l'applicazione delle tecniche dell'agricoltura di precisione le quali permettono una gestione ottimale differenziando spazialmente sia l'utilizzo delle risorse che le pratiche agricole da adottare in modo da aumentare la resa e ridurre gli sprechi (Morais et al., 2008). Tali tecnologie si basano sull'uso congiunto dei sistemi di posizionamento globale (GPS), dei sistemi informativi territoriali (GIS), dei sensori di monitoraggio puntuale, delle tecniche di telerilevamento e della tecnologia a *ratio* variabile nelle diverse macchine agricole (Seelan et al., 2003).

Attraverso l'uso congiunto di dati telerilevati acquisiti da piattaforme di prossimità, quali microdroni e veicoli terrestri, di informazioni puntuali relative alle principali caratteristiche del sistema pianta-suolo e dei parametri meteo-climatici, è possibile effettuare l'ottimizzazione delle pratiche colturali tipiche dei vigneti. A seguire verranno descritti la strumentazione, le piattaforme di prossimità di acquisizione dei dati telerilevati e la metodologia da seguire per realizzare i vari interventi da realizzare. Inoltre, verranno presentati alcuni risultati ottenuti dalle sperimentazioni condotte nel 2010 presso cinque aziende vitivinicole operanti nel territorio siciliano.

Strumentazione

Per poter applicare le tecniche di gestione dei vigneti descritte nel presente articolo è necessario utilizzare dei dati telerilevati acquisiti da piattaforme di prossimità e, in alcuni casi, delle informazioni puntuali relative ad alcune grandezze caratterizzanti il sistema pianta-suolo-atmosfera.

La strumentazione proposta in questa metodologia è la seguente:

- camera multispettrale *Tetracam* mod. ADC Lite dotata di sensore CMOS da 3.2 megapixel che acquisisce nelle bande del verde (G), del rosso (R) e del vicino infrarosso (NIR);
- termocamera Digitale NEC *THERMO SHOT* F30 avente una risoluzione di 160 X 120 pixel con uno spectral range tra gli 8 ed i 13 μ m, dotata di un trigger radiocomandato;
- misuratore di umidità *Fieldscout* TDR 100 della *Spectrum Technologies*, che determina l'umidità del suolo basandosi sulla correlazione fra il contenuto volumetrico di acqua nel terreno e la sua costante dielettrica;
- rifrattometro digitale per la misura del grado zuccherino dei campioni d'uva della *Hanna Instruments*, modello HI 96814, il quale si basa sulla misurazione dell'indice di rifrazione di una soluzione ed effettua sulle misure una compensazione automatica con la temperatura;
- misuratore portatile di pH della *Hanna Instruments*, modello HI 98185, dotato di sonda di temperatura che permette di ottenere misure compensate automaticamente;
- minititolatore per l'analisi dell'acidità totale della *Hanna Instruments*, modello HI 84102, che determina il contenuto totale di acidi attraverso una reazione di neutralizzazione tra gli acidi contenuti nel campione di uva e una soluzione basica di titolazione nota;
- lisimetri a suzione con punta in ceramica porosa per il campionamento della soluzione circolante del suolo;
- fotometro multiparametro per analisi dei nutrienti in agricoltura (macroelementi primari e secondari) della *Hanna Instruments*, modello HI 83225, che è in grado di determinare le concentrazioni "c" dei diversi parametri della soluzione circolante presente nel terreno.

Nella tabella 1 vengono riportati gli strumenti utilizzati in ciascuna pratica colturale considerata.

		Pratiche colturali			
		Concimazione	Irrigazione	Defogliazione	Vendemmia
S t r u m e n t i d i m i s u r a	Camera multispettrale	X	X	X	X
	Termocamera		X		
	TDR Soil Moisture Meter		X		
	Rifrattometro digitale				X
	Misuratore portatile di ph				X
	Minititolatore per acidità totale				X
	Fotometro multiparametro	X			

Tabella 1 – Strumenti di misura utilizzati in ciascuna pratica colturale considerata.

Piattaforme di prossimità

Le piattaforme di acquisizione di dati telerilevati di prossimità maggiormente utilizzate sono quelle aeree, in particolare per applicazioni in ambito civile-ambientale si utilizzano i droni (Montagna et al., 2009; Sarazzi et al., 2011).

I droni o UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) sono velivoli senza pilota a bordo in grado di seguire automaticamente una rotta pianificata a priori o pilotati da terra attraverso un sistema di controllo radio (principalmente nelle fasi di decollo e atterraggio). Rispetto alle altre piattaforme di volo tradizionali, aeree o satellitari, gli UAV presentano numerosi vantaggi tecnici e logistici. Tra i più importanti: bassa quota operativa (che si traduce in un'elevatissima risoluzione spaziale), tempestività nella messa in esercizio e nell'ottenimento dei dati, ridotti costi di esercizio.

In particolare, l'md4-200 è un UAV della classe VTOL (*Vertical Take-off and Landing*), un elicottero quadrirotore che decolla e atterra verticalmente praticamente in qualunque contesto, slegandosi totalmente dalla necessità di aviosuperfici preparate allo scopo. E' dotato di un sofisticato sistema inerziale e di sottosistemi integrati di volo che lo rendono un'apparecchiatura assolutamente sicura. Su tale piattaforma vengono installate alternativamente la camera multispettrale e la termocamera per l'acquisizione ad altissima risoluzione spaziale dei dati telerilevati.

In alternativa alla piattaforme aeree è possibile fare ricorso a quelle terrestri, quali i *quad* o i mezzi da lavoro agricoli, entrambi opportunamente equipaggiati con gli strumenti di ripresa e di posizionamento globale (Scordo, Tulone, 2010).

Nella figura 1 si mostra il sistema di acquisizione di dati multispettrali composto dal drone md4-200 e dalla Tetracam ADC lite.



Figura 1 – Sistema di acquisizione di dati multispettrali di prossimità composto dal drone md4-200 e dalla Tetracam ADC lite.

Metodologia

La metodologia riportata nel presente articolo consente di migliorare la gestione delle singole pratiche colturali del vigneto attraverso l'uso congiunto di dati telerilevati ed informazioni puntuali in un sistema ciclico di gestione (Srinivasan, 2006) costituito da tre fasi:

- determinazione dello stato di fatto;
- scelta e realizzazione degli interventi da apportare;
- valutazione degli interventi.

Durante la prima fase si eseguono una o più campagne di misura in cui si acquisiscono i dati spaziali (immagini multispettrali e/o termiche) con le piattaforme di prossimità sopra descritte e, laddove necessario, delle informazioni puntuali tramite il prelievo di opportuni campioni.

Analizzando le informazioni acquisite *in situ* si effettua una zonizzazione del terreno caratterizzandolo per aree a comportamento omogeneo. I risultati ottenuti da tali analisi devono essere utilizzati dal gestore del vigneto per realizzare le varie pratiche colturali a *ratio* variabile.

Infine, per valutare la bontà degli interventi eseguiti, si deve realizzare un'ulteriore rilievo di prossimità. Se l'intervento correttivo ha dato gli esiti sperati la variabilità spaziale presente all'interno dell'appezzamento investigato sarà minore.

Per gestire e monitorare in maniera ottimale le varie operazioni condotte nei singoli appezzamenti è opportuno implementare un GIS aziendale contenente tutte le tipologie di informazioni acquisite ed elaborate durante il ciclo di gestione.

Le immagini telerilevate acquisite durante la prima e la terza fase della procedura prima di essere interpretate devono opportunamente elaborare. In particolare, a partire dalle immagini acquisite dalla camera multispettrale si determina l'NDVI (Rouse et al., 1973) che è l'indice di vegetazione maggiormente utilizzato a livello globale e viene definito dalla differenza tra la riflettanza (ρ) nella banda spettrale dell'infrarosso vicino (NIR) e quella nella banda spettrale del rosso (R), normalizzata rispetto alla loro somma, secondo la seguente espressione:

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_R}{\rho_{NIR} + \rho_R} \quad [1]$$

Con tale indice è possibile individuare la vegetazione verde rispetto al suolo nudo e il *range* di variabilità è compreso tra -1 e 1: allo zero corrisponde il valore approssimato di nessuna vegetazione. L'NDVI risulta fortemente collegato con l'attività fotosintetica della *canopy* (Sellers, 1985) e che tale indice può essere applicato a diversi problemi di natura ambientale sia a livello regionale che globale (Tucker, Sellers, 1986; Nicholson et al., 1990).

Classificando in due o più classi le immagini di NDVI si ottengono le mappe di vigore vegetativo che, per ciascun stato fenologico della coltura, forniscono informazioni qualitative circa lo stato di salute della stessa.

Nei paragrafi che seguono verrà descritto il modo di operare per ciascuna pratica colturale esaminata.

Irrigazione

Anche se la vite, fin dai tempi più antichi, è stata considerata una pianta piuttosto resistente ai periodi siccitosi, negli ultimi anni si è iniziato a considerare l'irrigazione una pratica colturale in taluni casi necessaria (Eynard, Dalmasso, 2010) soprattutto in climi aridi e semiaridi dove la scarsità d'acqua è già un problema reale (Arnell, 2004; Richter et al., 2009).

Per quanto concerne la coltura della vite una buona disponibilità di acqua nel suolo e, quindi, l'eventuale adozione di opportune pratiche irrigue, risulta essere necessaria specialmente quando l'acino è in crescita, ossia dalla chiusura del grappolo all'invaiaitura. Una carenza di acqua in questo periodo di ingrossamento dell'acino causerebbe una riduzione del peso del grappolo, un ritardo di maturazione e uno scadere della qualità con diminuzione di zuccheri, di acidità e di sostanze coloranti. Di contro, dopo l'invaiaitura (cambio di colore degli acini) e per tutta la durata della maturazione, l'irrigazione riveste un'importanza secondaria; anzi, una moderata siccità con conseguente stress idrico della pianta, migliora la qualità del prodotto incrementando gli zuccheri e le sostanze coloranti, mentre deprime leggermente la produzione (Valli, 2005).

Risulta, quindi, di fondamentale importanza essere a conoscenza del contenuto idrico nel suolo per poter supportare l'imprenditore agricolo per un corretto svolgimento di tale pratica gestionale.

Tra i metodi per la stima dello stato di umidità o contenuto d'acqua del suolo basati sull'utilizzo di dati telerilevati acquisiti da piattaforma satellitare in questa sede si suggerisce di applicare il "Metodo del Triangolo" (Carlson et al., 1995) attraverso il quale lo stato di umidità del suolo viene stimato a partire dei soli valori di temperatura superficiale del suolo (LST) e dell'indice di vegetazione NDVI. In tal modo una porzione di terreno rappresentata da un punto nello spazio LST-NDVI (figura 2) viene riconosciuta come secca o umida a seconda della sua posizione rispetto al bordo secco (*warm edge*) o a quello umido (*wet edge*).

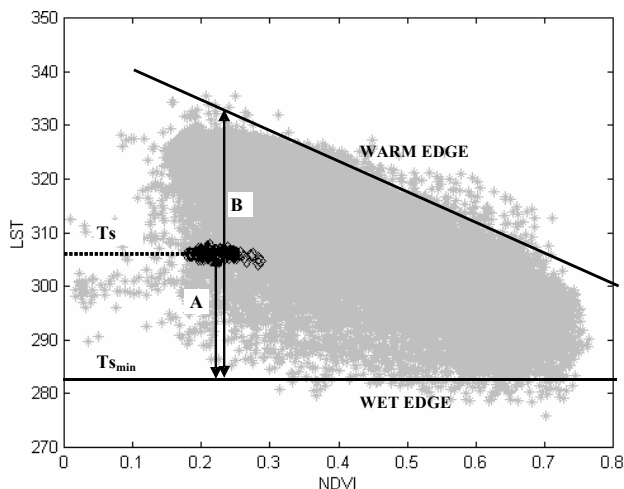


Figura 2 – Rappresentazione sul piano cartesiano NDVI-LST della formulazione dell'indice TDVI.

In particolare, attraverso il *Temperature Vegetation Dryness Index* (TVDI) proposto nel 2002 da *Sandholt et al.* è possibile valutare lo stato di umidità del suolo mediante il rapporto fra la distanza di un punto dal bordo umido (A) e la distanza fra i due bordi (B) per il dato valore di NDVI:

$$\text{TVDI} = \frac{A}{B} \quad [2]$$

Inoltre, è possibile migliorare la stima ottenuta dello stato di umidità del suolo attraverso la realizzazione di campagne di rilevamento al suolo, quali le misure puntuali ottenibili dall'utilizzo di sonde TDR.

Defogliazione

Attraverso l'interpretazione di una semplice mappa di vigore vegetativo, ossia un'immagine classificata in due o più classi dell'indice di vegetazione NDVI, acquisita nel periodo compreso tra l'invasiatura e la maturazione completa del frutto è possibile pianificare un intervento di defogliazione volto a favorire una completa e più uniforme maturazione dei grappoli in modo tale da incrementare l'illuminazione e migliorare il microclima complessivo del frutto.

Una parete vegetativa efficiente deve essere composta di sole foglie perfettamente o almeno ben illuminate ed una minima quota di foglie in ombra. Per ottenere questo risultato la parete fogliaria deve avere uno spessore contenuto ed essere il più verticale possibile (Barbagallo et al., 2007).

Gli interventi di defogliazione, pertanto, devono essere concentrati laddove il vigore vegetativo risulta essere maggiore e possono essere realizzati sia a mano che attraverso l'utilizzo di macchine defogliatrici.

Vendemmia

Una mappa di vigore vegetativo acquisita in prossimità della raccolta consente di ricavare delle informazioni qualitative utili per la pianificazione della vendemmia. In particolare, le porzioni di vigneto caratterizzate dall'avere una minore vigoria saranno quelle in cui i singoli grappoli avranno raggiunto una maggiore maturazione.

Nel caso in cui si vogliano avere delle informazioni più accurate sul grado di maturazione delle uve è possibile determinare delle mappe quali-quantitative di grado zuccherino, acidità totale e pH attraverso la raccolta di un congruo numero di campioni d'uva e la successiva correlazione dei parametri misurati puntualmente con le grandezze multispettrali.

Al fine di prelevare dei campioni d'uva rappresentativi è opportuno raccogliere alcuni acini da più grappoli dalla stessa pianta; in particolare, per ciascun grappolo si consiglia di raccogliere due acini nella parte apicale, due nella parte più in basso e quattro nella parte centrale due esposti al sole e due all'ombra. I campioni di uva così raccolti dovranno essere conservati e trasportati in laboratorio a temperatura controllata in modo da preservarne le caratteristiche fisico-chimiche.

Concimazione

Per realizzare una corretta concimazione occorre essere a conoscenza della composizione chimica delle soluzioni nutrienti contenute nel suolo che, conseguentemente, saranno poi assorbite dalla pianta. L'azoto (N), il fosforo (P) ed il potassio (K) sono chiamati macronutrienti in quanto sono gli elementi principali maggiormente necessari alle piante; gli altri elementi, necessari in piccole quantità, sono chiamati micronutrienti. Le piante hanno bisogno di una soluzione nutritiva bilanciata, composta di macro e micronutrienti. La carenza di sostanze nutritive può causare una crescita irregolare della pianta, scarsa resistenza alle malattie, scarsa produzione, sia in termini di quantità che qualità, mentre i nutrienti in eccesso possono causare lo spreco di fertilizzante, l'inquinamento delle acque sotterranee e l'accumulo di sostanze pericolose nella produzione agricola. Tenuto conto che gran parte della fertilizzazione viene eseguita nel periodo di riposo vegetativo è possibile pianificare gli interventi di concimazione con una mappa di vigore vegetativo

dell'anno precedente in modo da differenziare gli apporti di nutrienti per ciascuna zona omogenea del singolo appezzamento.

In alternativa, nel caso in cui si vogliano avere delle informazioni più precise, è possibile correlare la mappa di vigore vegetativo con le concentrazioni dei macronutrienti ottenute analizzando con il fotometro multiparametro i campioni di soluzione circolante raccolti dai lisimetri a suzione.

Applicazione sperimentale

Nell'estate del 2010 E.Lab S.r.l., Spin-Off Accademico dell'Università degli Studi di Palermo, e il Consorzio Ticonzero hanno acquisito in alcuni campi sperimentali di cinque aziende vitivinicole operanti nel territorio siciliano delle immagini multispettrali e delle analisi puntuali di grado zuccherino, acidità totale e pH.

Le aziende che hanno aderito allo svolgimento delle varie attività progettuali sono state: Donnafugata (Contessa Entellina, Palermo), Tenuta Rapitalà (Camporeale, Palermo), Tenuta Gorgi Tondi (Campobello di Mazara, Trapani), Alessandro di Camporeale (Camporeale, Palermo), De Gregorio (Sciacca, Agrigento). Nella tabella 2 viene riportata l'estensione dei campi pilota espressa in ettari per tipologia di *cultivar* per ciascuna azienda.

Azienda	<i>Cultivar</i>				
	<i>Chardonnay</i>	<i>Souvignon</i>	Pinot bianco	Nero d'Avola	<i>Merlot</i>
Donnafugata	2,42	-	-	1,36	-
Tenuta Rapitalà	1,15	-	-	-	1,38
Tenuta Gorgi Tondi	1,28	-	-	1,36	-
Alessandro di Camporeale	-	0,86	-	1,16	-
De Gregorio	1,00	-	-	0,98	0,41

Tabella 2 – Estensione dei campi pilota espressa in ettari per tipologia di *cultivar*.

Per ciascun campo sperimentale sono state realizzate, mediamente, quattro campagne di acquisizione dati *in situ* di:

- dati multispettrali di prossimità acquisiti con il sistema MuLO - *MULTIspectral Land Observation* (figura 3) costituito da un *quad*, una camera multispettrale Tetracam mod. ADC Lite e da un GPS (Scordo et al., 2010);
- prelievi di campioni di uve in 16 punti distribuiti secondo delle maglie regolari seguendo la metodologia precedentemente descritta.



Figura 3 – Sistema di acquisizione MuLO - *MULTIspectral Land Observation* costituito da un *quad* (a), una camera multi spettrale (b) ed un'antenna GPS (c).

La figura 4 mostra le curve di maturazione di grado zuccherino, pH ed acidità totale ottenute durante campagne di acquisizione dati *in situ* nel campo sperimentale di nero d'avola dell'azienda Alessandro di Camporeale. Sono rappresentati gli andamenti dei valori medi delle analisi per ogni campagna di misura (punti e linea continua) e lo scostamento dalla media con lo scarto quadratico medio $\mu \pm \sigma$ (linee tratteggiate).

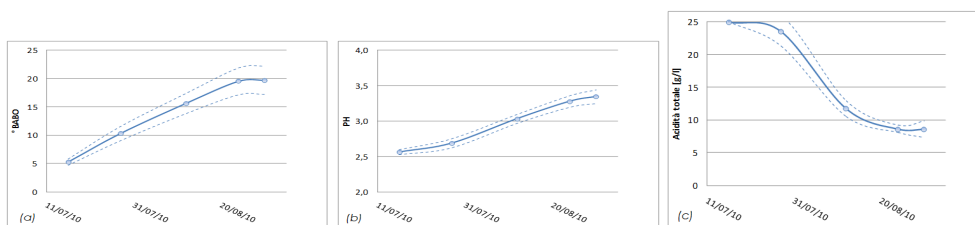


Figura 4 – Evoluzione temporale del grado zuccherino (a), di pH (b) e di acidità totale (c) del campo sperimentale di nero d'avola dell'azienda Alessandro di Camporeale.

Nelle figura 5 si riportano a titolo esemplificativo alcune mappe di vigore vegetativo ottenute.

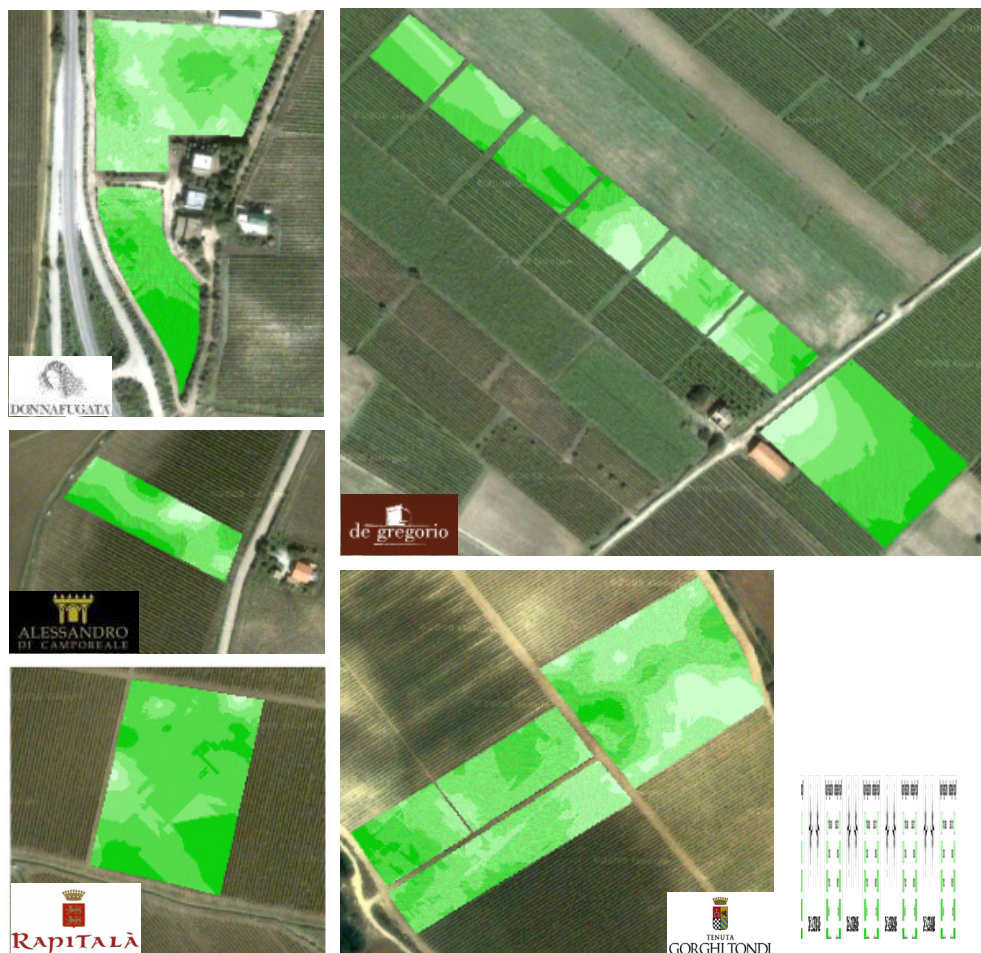


Figura 5 – Mappe di vigore vegetativo dei campi sperimentali di alcune aziende vitivinicole acquisite nel periodo luglio-agosto 2010.

Le applicazioni sperimentali brevemente descritte in questa sede sono state realizzate nell'ambito delle attività sviluppate all'interno del progetto "Enolab: telerilevamento di prossimità nella viticoltura" promosso e sostenuto dal Consorzio ARCA di Palermo con il "Bando per il sostegno allo start up delle aziende incubate: Progetto IDRA – Impresa Dalla Ricerca Avanzata, Azione C.2

– concessione di contributi di *seed capital*” e cofinanziato dal Ministero dello Sviluppo Economico al fine di promuovere e sostenere lo start up di imprese innovative che contribuiscano allo sviluppo del territorio regionale siciliano.

Conclusioni

Le informazioni ottenibili dalle piattaforme di prossimità di acquisizione di dati telerilevati, quali micro-droni e veicoli terrestri, possono essere utilizzate congiuntamente a quelle puntuali relative le principali caratteristiche del sistema pianta-suolo per cercare di ottimizzare le pratiche colturali tipiche dei vigneti, quali la defogliazione, l'irrigazione, la raccolta e la concimazione.

L'applicazione di tali metodologie di gestione in cinque aziende vitivinicole operanti nel territorio siciliano ha consentito di testare, anche se in dei campi sperimentali di piccola estensione, alcune delle metodologie di gestione colturali descritte nel presente articolo. In attesa che tali pratiche gestionali del vigneto siano applicate su larga scala, verranno effettuati ulteriori test rivolti anche ai trattamenti di difesa contro le avversità, come quelle di natura parassitaria.

Riferimenti bibliografici

- Arnell, N.W.(2004), “Climate change and global water resources: SRES emissions and socio-economic scenarios”, *Global Environmental Change* 14, 1:31-52.
- Barbagallo M.G., Vesco G., Pisciotta A. , Crosta L., Di Lorenzo R. (2007), “Effetti del regime colturale e della sfogliatura sull'attività vegetativa e produttiva della cultivar 'Nero d'Avola'”. *Quaderni di Scienze Viticole ed Enologiche*. Università di Torino. pp 141-154.
- Carlson T.N., Gillies R.R., Schmugge T.J. (1995), “An interpretation of methodologies for indirect measurement of soil water content”, *Agricultural and forest meteorology*, 77:191-205.
- Eynard I., Dalmasso G. (2010), *Viticultura moderna*, Edizioni Hoepli, Milano.
- Lunelli M., Rossetti M. (2009), “Programma vitivinicolo di precisione applicato alla Tenuta podernovo”, *Convegno Internazionale Viticoltura ed Enologia Sostenibili: indirizzi, tecnologie e prospettive*, SIMEI, 23° Edizione.
- Montagna M., Rigon P., Bresciani M., Fila G. L. (2009), “Monitoraggio dei canneti di Sirmione tramite drone MD4-200” *Atti 13ª Conferenza Nazionale ASITA*, 1459-1464
- Morais R., Fernandes M. A., Matos S. G., Serôdio C., Ferreira P. J. S. G., Reis M. J. C. S. (2008), “A ZigBee multi-powered wireless acquisition device for remote sensing applications in precision viticulture”, *Computer and electronics in Agriculture*, 62:94–106.
- Nicholson S. E., Davenport M. I., Malo A. D. (1990), “A comparison of the vegetation response to rainfall in the Sahel and east Africa using NDVI from NOAA AVHRR”, *Climatic Change*, 17:209-241.
- Richter K., Vuolo F., D'Urso G. (2009), “Estimation of potential evapotranspiration: empirical versus physical approaches of crop characteristics”, *IX Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana di Ingegneria Agraria*, 2-32.
- Rouse, J.W., R.H.Haas, J.A.Schell, D.W.Deering (1973) “*Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS*”, *Third ERTS Symposium*, NASA SP-351 I:309-317.
- Sandholt I., Rasmussen K., Andersen J. (2002), “A simple interpretation of the surface temperature-vegetation index space for assessment of surface moisture status”, *Remote Sensing of Environment*, 79:213-224.
- Sarazzi D., Julitta F., Quartieri A., D'Argenio A. (2011), “Acquisizione ed elaborazione fotogrammetrica di immagini da micro e mini UAV”, 5° Workshop Tematico “Telerilevamento e Scienze della Terra”
- Scordo A., Tulone M. (2010), “Sistemi integrati di rilievo a terra e in volo per la produzione di mappe di vigore in viticoltura di precisione”, *GIS Day 2010 - Palermo*
- Seelan S. K., Laguette S., Casady G.M., Seielstad G. A. (2003), “Remote sensing for precision agriculture: a learning community approach”, *Remote Sensing of Environment*, 88:157–169.
- Sellers P. J., (1985), “Canopy reflectance photosynthesis and transpiration”, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 6, no. 8:1335-1372.
- Srinivasan A. (2006), *Handbook of Precision Agriculture*, The Haworth Press.
- Tucker C. J., Sellers P. J (1986), “Satellite Remote Sensing of primary production”, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 7, no.11:1395-1416.
- Valli R. (2005), “Irrigare la vite”, *Notiziario Fitopatologico*, 2: 22.

Analisi del Disco di Festo

Ettore Scorsetti

Politecnico di Milano, DIIAR, Piazza Leonardo da Vinci 32, 20133 Milano (Italy)
Ph. + 39 02 2399 6501, Fax + 39 02 2399 6602, e-mail red.ettore@virgilio.it

Riassunto

Il Disco di Festo è un reperto ritrovato nell'omonima città sull'isola di Creta, sotto un muro di un palazzo minoico, durante una spedizione archeologica guidata da Luigi Pernier nel 1908 e risalente al 1700 a.C.

È un disco di terracotta non perfettamente rotondo, di dimensioni variabili tra 158 – 166 mm di diametro e 16 – 21 mm di spessore; è cosparso di simboli figurati rimasti indecifrati, impressi con stampino quando l'argilla era ancora fresca e disposti a spirale su entrambe le facce.

Molteplici e illustri studiosi si sono cimentati nel corso degli anni nella sua interpretazione, proponendo soluzioni più o meno logiche e coerenti, affascinanti o paradossali. Per questo motivo, e data l'esiguità del campione, non è possibile fare un'unica traduzione/interpretazione del contenuto del Disco, né smentire qualsiasi traduzione/interpretazione proposta, seppure di fantasia.

Entrambe le facce sono coperte di linee graffite e da caratteri impressi a stampa che determinano un'iscrizione a spirale caratterizzata da segni radunati in gruppi, separati l'uno dall'altro da un trattino che collega fra di loro i giri della spirale. Convenzionalmente abbiamo definito A e B le due facce di cui è composto: sulla faccia A sono contenuti 31 gruppi di segni per un totale di 123 segni, mentre sulla faccia B vi sono 30 gruppi di segni per un totale di 119 segni. Il numero di segni differenti leggibili sul disco è pari a 45.

Il punto di origine per la lettura del disco è indicato da una linea verticale affiancata da 5 puntini collocata nella parte più esterna sia nella faccia A che B.

Le varie "sezioni" del "testo" finiscono con l'incasellare ogni unità semantica in uno spazio fortemente delimitato che poco concede al libero dipanarsi della parola. Dall'analisi dei segni si nota che essi non appaiono assimilabili ad alcuna forma nota di scrittura, e anche la loro cifra linguistica è discutibile.

A tal fine, si è valutata la dipendenza tra i diversi caratteri di ciascuna faccia del Disco di Festo tramite la loro connessione e, dati indici molto elevati, la loro correlazione.

Abstract

The Phaistos Disk is an archaeological finding brought to light in the town of Phaistos, on the island of Crete, under the wall of a minon palace, during a scientific expedition guided by the italian archaeologist Luigi Pernier, in July 1908. Stratigraphy traces back its origin to 1700 b. C.

It is a terracotta, not perfectly round, disk, with a diameter ranging between 158 mm and 166 mm and a thickness ranging between 16 mm and 21 mm. These elements suggest that it was obtained by compression from an excellent quality potter's earth.

The Disk is strewn with undeciphered symbolic forms impressed with a stencil plate on soft clay, forming spirals on both faces.

Many famous scholars undertook its interpretation in the course of years, proposing more or less logical and coherent, but fascinating and paradoxical, solutions. For this reason - and because of the exiguusness of the piece - no unique translation of its content is possible, nor can any proposed, even fanciful, translation be excluded.

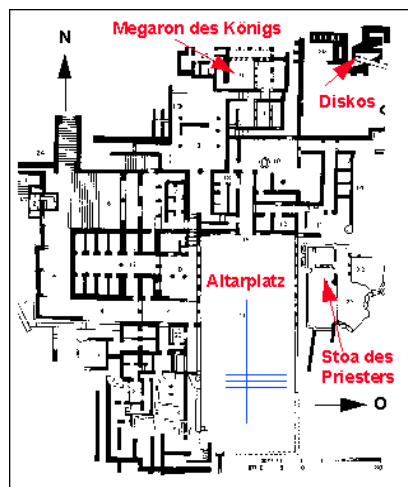
We conventionally defined A and B the two faces of the Disk. Face A contains 31 groups of signs, for a total of 123 signs; face B contains, in its turn, 30 groups of signs, for a total of 119 signs. The number of legible signs on the Disk amounts to 45.

The starting point for its reading is shown by a line bordered by 5 small points on the most external part both of face A and B.

The different “sections” of the “text” are neatly separated and distinct, the ones from the others, by means of a system of vertical small bars which, together with the spiral line, enclose each semantic unity inside a strongly limited space restraining the spanning of each word. The analysis of characters does not allow to attribute them to any well-known writing system.

For such purpose we have valued the relation among the various characters on each face of the disk by means of their connection and, in the light of the high indexes detected, through their linear correlation.

Il ritrovamento del Disco di Festo



Il Disco di Festo è un reperto ritrovato nell'omonima città di Festo sull'isola di Creta, sotto un muro di un palazzo minoico, durante una spedizione archeologica guidata da Luigi Pernier nel mese di luglio dell'anno 1908. E' un disco di terracotta non perfettamente rotondo, di dimensioni variabili tra 158 – 166 mm di diametro e 16 – 21 mm di spessore, cosparso di simboli figurali rimasti indecifrati, impressi con stampino quando l'argilla era ancora fresca e disposti a spirale su entrambe le facce.

La datazione stratigrafica ne attribuisce l'età al 1700 a.C. In effetti, il Disco di Festo fu trovato all'interno della cerchia delle mura del primo palazzo che si trovava ad un livello inferiore rispetto alla cinta muraria del secondo palazzo.

Il palazzo di Festo, eretto sull'orlo di una ripida collina con una superba vista sulla pianura di Messarà ad Est, e sul massiccio dell'Ida a Nord, godeva di una invidiabile

posizione. Secondo, per dimensioni, solo a quello di Cnosso, era, rispetto a questo, avvantaggiato per la sua posizione incantevole e per l'aria e il clima.

L'oggetto per le sue caratteristiche e per il luogo in cui è stato ritrovato è sempre stato considerato come un qualcosa di unico e antichissimo; inoltre gli si può attribuire una funzione importante, sacrale, strategica o legata al messaggio che contiene.

Molteplici e illustri studiosi si sono cimentati nel corso degli anni nella sua interpretazione, proponendo soluzioni più o meno logiche e coerenti, affascinanti o paradossali; e in effetti, sono quasi cent'anni che il Disco di Festo ha dato vita a un proliferare di storie e di teorie, quasi fosse un oggetto magico che le contenga davvero tutte e che, dotato di una propria anima, si diverta a raccontarne volta per volta una diversa.

Per questo motivo, e data l'esiguità del campione, non è possibile fare un'unica traduzione del contenuto del Disco, né smentire qualsiasi traduzione proposta, seppure di fantasia.

Caratteristiche del disco

Il disco di Festo non è perfettamente circolare: il suo diametro varia tra 158 e 166 mm, mentre lo spessore tra 16 e 21 mm, elementi che fanno supporre che sia stato ottenuto per compressione da un'argilla di ottima qualità.

Entrambe le facce sono coperte di linee graffite (a mano, probabilmente mediante uno stilo dalla punta dura e sottile) e di caratteri impressi a stampa quando l'argilla era ancora fresca.

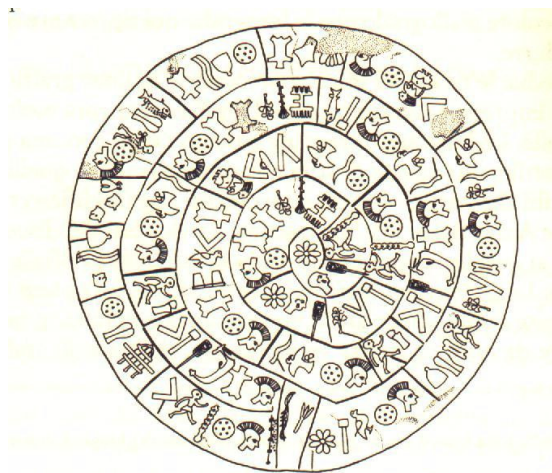
Il disco presenta un'iscrizione a spirale caratterizzata da segni radunati in gruppi, separati l'uno dall'altro da un trattino che collega fra di loro i giri della spirale.

Convenzionalmente abbiamo definito A e B le due facce di cui è composto: sulla faccia A sono contenuti 31 gruppi di segni per un totale di 123 segni, mentre sulla faccia B vi sono 30 gruppi di segni per un totale di 119 segni. Il numero di segni differenti leggibili sul disco è pari a 45.

Il punto di origine per la lettura del disco è indicato da una linea verticale affiancata da 5 puntini collocata nella parte più esterna sia nella faccia A che B.

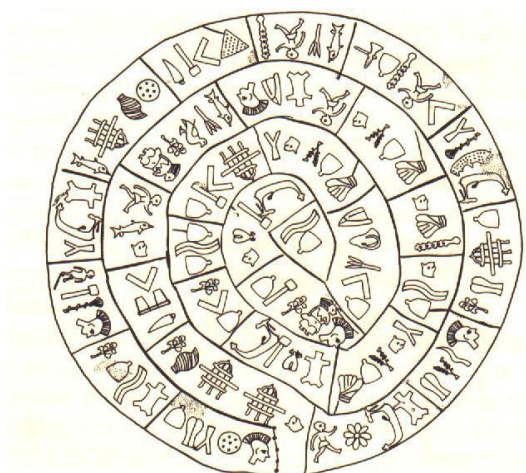
I caratteri del disco di Festo sono stati impressi con una serie di 45 punzoni e rappresentano probabilmente il primo caso nella storia di un'iscrizione realizzata con caratteri mobili, purtroppo andati persi.

Faccia A



Rappresentazione grafica della faccia A.

Faccia B



Rappresentazione grafica della faccia B.

La decifrazione

Il Disco di Festo, già sotto questo profilo, presenta una sua singolarità. Le varie "sezioni" del "testo" sono nettamente distinte e separate le une dalle altre, con un sistema di barrette verticali che, unite alla linea della spirale, finiscono con l'incassare ogni unità semantica in uno spazio fortemente delimitato che poco concede al libero dipanarsi della parola. Dall'analisi dei segni si nota che essi (123 sul lato A, e 119 sul lato B) non appaiono assimilabili ad alcuna forma nota di scrittura, ed anche la loro cifra linguistica è discutibile. Vediamo di capirne il perché.

Chi ha sostenuto la tesi che si tratti di scrittura ha dovuto affermare, a cominciare da Ventris e Chadwick nel loro *Documents in Mycenaean Greek*, che trattasi verosimilmente di una scrittura di tipo egeo, e comunque sillabica.

D'altra parte finora nessuno ha messo in dubbio che si tratti di una forma di scrittura, ma nonostante ciò nessuno è riuscito a "decifrare" l'oscuro messaggio che ci viene da un tempo tanto remoto né, peraltro, a riconoscere il registro di una tale forma di comunicazione.

Non sappiamo che valenza abbiano i segni, se acrofonica o d'altro tipo, né sappiamo se trattasi di lingua affine al ceppo ie.; ma un'analisi linguistica può anche prescindere da codesti elementi. Si nota che solo un paio di "parole" su entrambi i lati del disco finiscono con il medesimo segno, e questo denota che se si tratta di lingua non è del tipo flessivo.

Questa caratteristica appare quanto meno strana in quell'area geo-linguistica che va dai Balcani ai limiti delle regioni microasiatiche.

Inoltre anche altri elementi ci fanno dubitare che si tratti di un linguaggio. Si potrebbe ipotizzare un linguaggio di tipo sillabico, ma diverse sezioni presentano una serie di 6 o addirittura 7 segni, il che indicherebbe la presenza di parole eccessivamente lunghe.

E' bene sottolineare che dall'analisi interna dei segni per ogni sezione appare strano, ad esempio, che il segno del "guerriero con elmo" appaia soltanto all'inizio di ogni sequenza in entrambi i lati del disco; che esistano serie di due segni ripetuti ma mai all'inizio della sequenza e che esistano varianti di "posizione" di taluni segni, posti ruotati talvolta di 45° o di altri che sono stati sfasati senza, perciò, indicare una atipica loro specificità.

Insomma, la singolarità della cifra semantica delle varie sequenze del Disco di Festo impedisce agli studiosi di credere che si tratti di linguaggio.

In sintesi, il fatto che ogni "parola", ovvero ogni sequenza, presenti un impianto strutturale e morfologico sempre diverso, nel quale si individuano ben 33 "suffissi" diversi (23 A / 10 B), in un "testo" tutto sommato così breve, rafforza l'ipotesi che non si tratta di scrittura.

Proprio per questo si sono sviluppate altre ipotesi interpretative, tra cui quella iniziale secondo la quale il Disco di Festo altro non è che un "normalissimo" calendario-diario ad uso e consumo, forse, dei giovani (o della gente in genere) di quel tempo; per cui altro dev'essere il codice di lettura del reperto per poterne valutare esattamente lo spessore.

Quello che colpisce è il numero delle sezioni in cui è divisa ogni faccia del disco: 31 sul lato A, e 30 sul lato B. E' una singolarità troppo evidente per essere trascurata, né può trattarsi di semplice coincidenza. Qui, la circolarità dell'oggetto è in relazione al circolo solare ed al suo moto durante l'anno e appare configurare l'immagine del cielo e quindi il computo del tempo in relazione agli eventi astrali o stagionali.

Questo si legge, si intuisce, immediatamente al primo approccio; quindi, analizzando il "testo", inizia a prendere forma la consapevolezza che il cerchio voglia esprimere, rappresentare in maniera immediata e simbolica, conoscenze geo-matematiche che attengono alla figura.

Si tratta, fra l'altro, di un oggetto didattico, come tanti altri in uso in antichità; come le anforette etrusche che recano graffito l'alfabeto, quelle di Graviscae, di Formello, di Viterbo, e di Cerveteri. All'inizio si pensò erroneamente che il mese potesse essere suddiviso per "settimane". Considerando che potevano essere, ad esempio, di 31 giorni i mesi estivi e di 30 quelli invernali, era intuitivo domandarsi se c'era un numero distintivo di quella cultura per il quale il mese potesse essere suddiviso. Ponendo, difatti, il 5, le serie che si formano sono.

19, 20, 19, 23, 19, 19, 3

20, 19, 19, 19, 19, 21.

Il 19, come insieme di attività da compiere per "settimana", ritorna con una certa frequenza. Ma una suddivisione del mese in periodi, per quel tempo, non è assolutamente ipotizzabile.

Ma v'è un'altra analisi che appare ancor più sconvolgente. Se si assume come "diagonale" del disco il raggio, la sezione, che individua il cerchio presso il punto d'inizio del "testo", si vede chiaramente che per ogni "spira" v'è (per ambo i lati) una sola serie che appare, multipla del 3.

12, 9, 6, 3, 1 (lato A)

12, 9, 6, 3 (lato B).

Il che è ancora più straordinario, in quanto dimostra che a quel tempo il calcolo (sia pure in un sistema a base dieci) era già basato sul 3 e sui suoi multipli. L'immagine esplosa delle due facce appena vista lo indica chiaramente. Per cui anche l'anno doveva essere, anzi già era di dodici mesi.

Difatti:

6 mesi di 31 gg. = 186 gg.

6 mesi di 30 gg. = 180 gg.

totale 366 gg.

Per quanto riguarda i segni, tutte e due le facce iniziano con la stessa immagine, quella del guerriero



con l'elmo : segno che l'attività guerresca era primaria e fondamentale per la comunità.

Altre attività appaiono chiaramente identificabili, come quella dell'esercitarsi con



l'arco , quella di saper andar per mare



, di costruire elmi o



corazze , di dedicarsi poi alla concia delle pelli



, del saper usare la raspa, il



trapano e l'ascia



, o di dedicarsi all'agricoltura, o addirittura di fare musica



Altri segni sono meno facilmente identificabili, e dalla capacità che si avrà di poterli riconoscere dipenderà la possibilità di poter tracciare un quadro delle abitudini e della cultura di tale popolo, il quale fu anche pescatore, curò le attività ginniche, fu dedito alla pastorizia, introdusse la coltura del fico e stabili probabilmente rapporti particolari con l'altro sesso, infatti la figurina di donna deve pur avere un suo particolare significato, anche se ancora esso non ci appare chiaro. Così come non sono chiari altri segni, la cui valenza e cifra devono essere riconosciute.

Altri segni, poi, sembrano richiamarci ad alcuni elementi che troviamo nella scrittura Lineare B, di cui il Disco di Festo deve essere coevo; perché, se la scrittura Lineare B è testimoniata in tavolette stilate intorno al XVI sec. a.C., essa è così bene e compiutamente strutturata che la sua formazione deve risalire per forza di cose a secoli precedenti, per cui il disco in questione, in questo caso, altro non fa che testimoniare la presenza di elementi pittografici che, nel linguaggio, assumono intanto la valenza di fonogrammi.



Questi sono il cerchio puntato

e l'ascia bipenne



che nel miceneo appare nettamente

stilizzata  nel segno che anticipa il moderno fonema T.

Nonostante ciò che è stato detto fino ad ora, in questo lavoro è stata presa in considerazione l'ipotesi che i simboli presenti nelle due facce siano lettere e che ciascun gruppo sia una parola; facendo uso di note specifiche di matematica discreta, si è quindi sviluppata un'analisi statistica sulle sequenze dei caratteri contenuti.

Il lavoro presentato nel seguito è stato così strutturato: si è innanzitutto sviluppato uno studio di tipo prettamente statistico dei dati forniti, partendo dalla statistica descrittiva generale, affrontando l'analisi della variabile statistica semplice e successivamente di quella doppia.

Sono stati costruiti, di volta in volta, grafici sulle frequenze dei simboli sia dal punto di vista globale che considerando le due facce prese singolarmente.

Si è valutata la dipendenza tra i diversi caratteri di ciascuna faccia del Disco di Festo – ognuna analizzata prima dall'interno verso l'esterno e poi viceversa – tramite il coefficiente di Bonferroni e un'analisi di correlazione lineare attraverso un apposito programma, che ci ha permesso di disegnare le rette di regressione dei dati.

Abbiamo poi proseguito con i test di buon adattamento sugli indici statistici provenienti da quest'ultima analisi, test di indipendenza classici e di Kolmogorov-Smirnov, test di Pearson per la normalità, test chi quadro sulla varianza, test t su ciascun parametro delle rette e test sul coefficiente di correlazione.

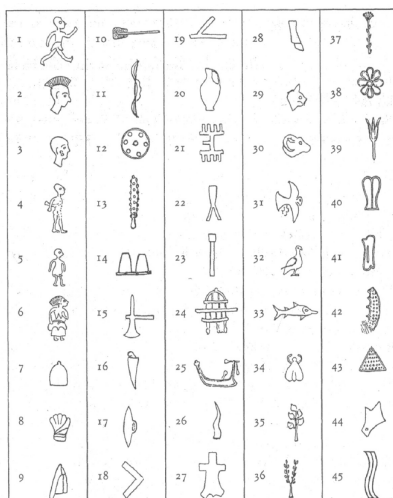
Lo studio dei grafi per la visualizzazione delle successioni tra sillabe, la Cluster Analysis per la visualizzazione delle frequenze tematiche nelle due facce e in conclusione lo studio dei piani 2^k.

STATISTICA DESCRITTIVA DEI SIMBOLI DEL DISCO DI FESTO

Il trattamento dei dati relativi al Disco di Festo

Il Disco di Festo presenta sulla faccia A 31 gruppi di segni, per un totale di 122 segni, e sulla faccia B 30 gruppi di segni per un totale di 119 segni (tabella 1). Il numero di segni differenti e leggibili sul Disco è pari a 45.

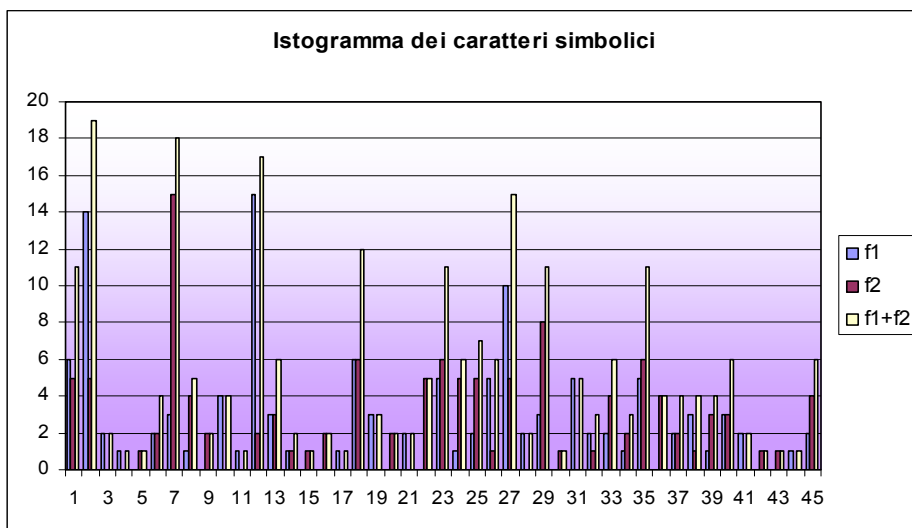
Per poter effettuare la nostra analisi, si sono infatti numerati i simboli dall'1 al 45 come indicato in Figura 4 e sulla base di questi, si sono costruiti tutti i principali indici statistici, nonché le varie distribuzioni di frequenze assolute.



I 45 simboli raffigurati sul Disco di Festo secondo la numerazione di riferimento utilizzata nel presente lavoro.

Caratteri	Presenze Faccia A	Presenze Faccia B	Presenze Faccia A+B
1	6	5	11
2	14	5	19
3	2	0	2
4	1	0	1
5	0	1	1
6	2	2	4
7	3	15	18
8	1	4	5
9	0	2	2
10	4	0	4
11	1	0	1
12	15	2	17
13	3	3	6
14	1	1	2
15	0	1	1
16	0	2	2
17	1	0	1
18	6	6	12
19	3	0	3
20	0	2	2
21	2	0	2
22	0	5	5
23	5	6	11
24	1	5	6
25	2	5	7
26	5	1	6
27	10	5	15
28	2	0	2
29	3	8	11
30	0	1	1
31	5	0	5
32	2	1	3
33	2	4	6
34	1	2	3
35	5	6	11
36	0	4	4
37	2	2	4
38	3	1	4
39	1	3	4
40	3	3	6
41	2	0	2
42	0	1	1
43	0	1	1
44	1	0	1
45	2	4	6
totale	122	119	241

Frequenze assolute dei simboli sulle due facce.



Istogramma delle frequenze assolute dei simboli su ciascuna faccia separatamente e complessivamente.

Per dare un aspetto più regolare all'istogramma sopra riportato sono stati riordinati i dati, attribuendo il valore 1 al carattere che compare con la frequenza maggiore e valori crescenti al diminuire delle presenze (come evidenziato in tabella), in seguito, sono stati realizzati i corrispondenti istogrammi.

Studio della variabile statistica semplice

Per le variabili a una dimensione (rappresentabili con diagrammi di frequenza o istogrammi, come pure con istogrammi cumulati o cumulogrammi), le principali statistiche rispondono alla quantizzazione delle idee di:

- centro, ovvero la determinazione, attraverso opportune procedure, di moda e mediana e, attraverso algoritmi, della media (aritmetica, geometrica, armonica, ponderata, potata, ecc.);
- dispersione, descrivibile ricorrendo al calcolo di ampiezza, mav e varianza;
- forma, ovvero al calcolo dell'indice di simmetria e della curtosi (comportamento delle code).

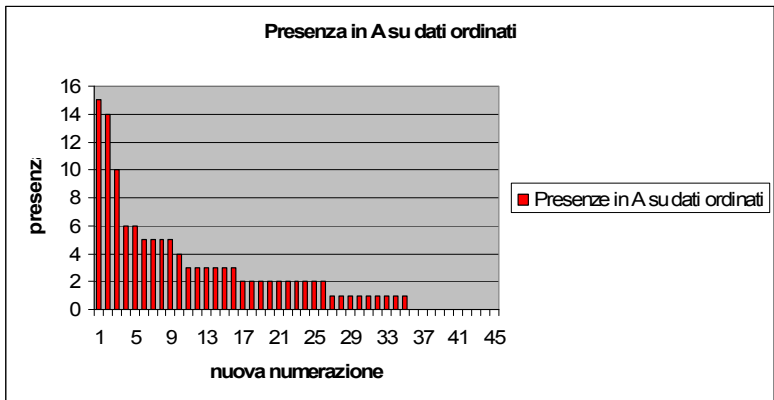
Per poterci riferire ad una distribuzione approssimabile ad una normale, abbiamo proceduto allo sdoppiamento dei dati, ovvero abbiamo alternativamente attribuito valori negativi ai dati presenti, in modo da ottenere i seguenti istogrammi a campana; abbiamo poi calcolato le principali statistiche relative alle due facce del Disco.

Sono stati quindi valutati alcuni indici di posizione (media, mediana, moda), di dispersione (varianza, m.a.v. e M.A.V.) e di forma (asimmetria e curtosi) relativamente ai dati precedentemente riordinati

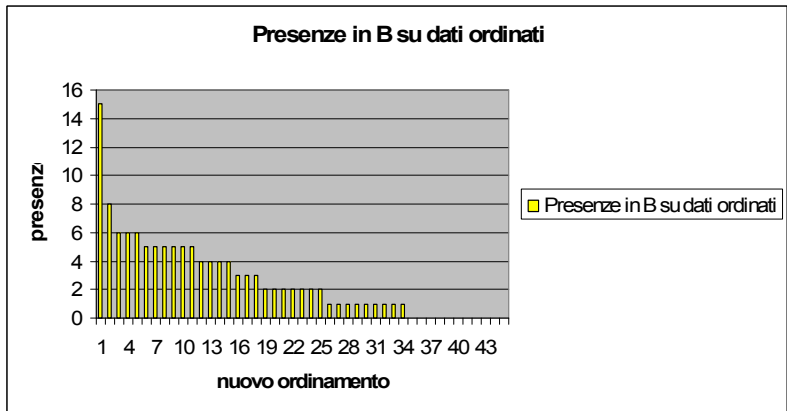
(i risultati sono riportati nella tabella).

simbolo IFA	nuovo ordinamento	simbolo IFA	nuovo ordinamento	simbolo IFA totale	nuovo ordinamento
12	2	2	2	2	2
27	3	18	3	12	3
1	4	28	4	27	4
18	5	35	5	18	5
23	6	1	6	1	6
26	7	2	7	23	7
31	8	22	8	28	8
35	9	24	9	35	9
10	10	25	10	25	10
7	11	27	11	13	11
13	12	8	12	24	12
19	13	38	13	26	13
28	14	36	14	38	14
38	15	46	15	40	15
40	16	13	16	46	16
3	17	38	17	8	17
5	18	40	18	22	18
21	19	5	19	26	19
25	20	9	20	6	20
28	21	12	21	10	21
32	22	15	22	5	22
33	23	40	23	9	23
37	24	34	24	38	24
41	25	37	25	8	25
45	26	5	26	18	26
4	27	14	27	32	27
8	28	15	28	34	28
11	29	28	29	3	29
14	30	30	30	9	30
17	31	32	31	14	31
24	32	35	32	18	32
34	33	42	33	20	33
38	34	43	34	21	34
44	35	3	35	28	35
5	36	4	36	41	36
9	37	10	37	4	37
15	38	11	38	5	38
18	39	17	39	11	39
20	40	19	40	15	40
22	41	21	41	17	41
30	42	28	42	30	42
36	43	38	43	42	43
42	44	41	44	43	44
43	45	44	45	44	45

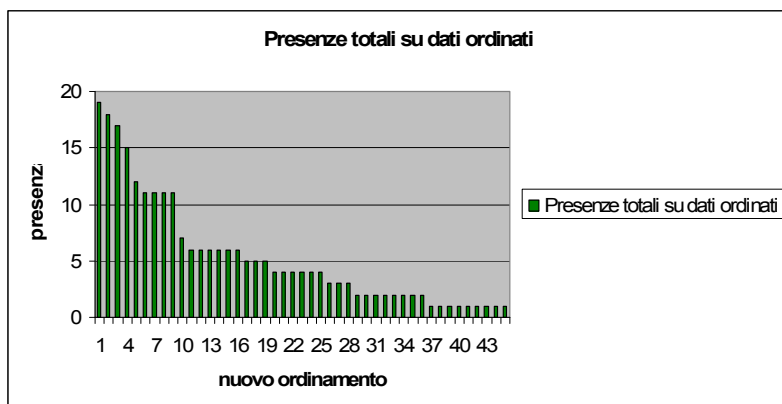
Corrispondenze tra i simboli e il nuovo ordinamento.



Frequenze del nuovo ordinamento per la faccia A



Frequenze del nuovo ordinamento per la faccia B



Frequenze del nuovo ordinamento considerando entrambe le facce del disco

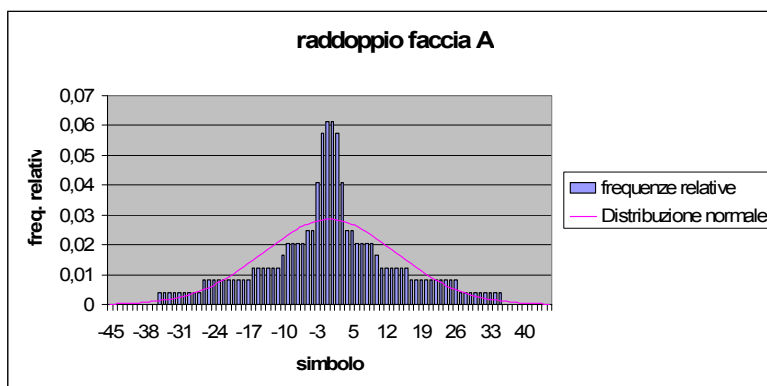
INDICI DI POSIZIONE	Faccia A	Faccia B	Disco totale
Media	10,40	10,97	12,67
Mediana	7,50	9,00	9,00
Moda	1,00	1,00	1,00
1° quartile	3,00	4,00	4,00
3° quartile	16,00	16,00	19,00
INDICI DI DISPERSIONE			
Varianza	84,37	74,80	115,87
s.q.m.	9,19	8,65	10,76
M.A.V.	7,25	6,94	8,39
m.a.v.	5,50	6,00	6,00
INDICI DI FORMA			
Asimmetria	0,92	0,79	1,01
Curtosi	2,81	2,74	3,19

Indici statistici ottenuti a partire dalle distribuzioni delle frequenze dei dati del nuovo ordinamento.

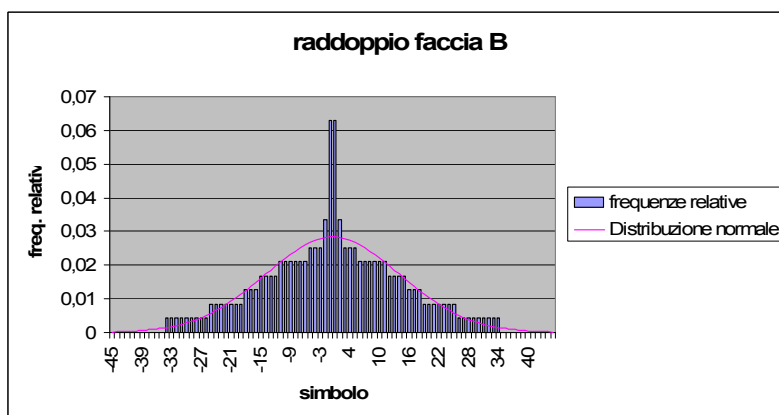
Dai dati riportati in tabella 3, sono state formulate alcune considerazioni: la curtosi fornisce un'informazione sull'allontanamento dalla normalità distributiva, quindi, per quanto riguarda i valori relativi alle facce A e B risulta, benchè vicini al valore di 3, ancora platicurtica, cioè risulta più "piatta" di una normale, mentre, considerando il disco nel suo complesso, risulta leptocurtica, cioè più "appuntita" di una normale.

In statistica una distribuzione, una funzione di probabilità, una funzione di densità o comunque una variabile casuale si dicono simmetriche quando esiste un valore X_m (che coincide con la media aritmetica ovvero con il valore atteso) per il quale a tutti i valori minori X_a (con $X_a = X_m - \Delta$, $\Delta > 0$) corrisponde una frequenza o funzione di probabilità o funzione di densità identica a quella che corrisponde al valore $X_b = X_m + \Delta$. Il risultato ottenuto per le distribuzioni delle facce A, B e del disco nel complesso è positivo, quindi con coda a destra: ciò era intuibile anche osservando gli istogrammi riportati nelle figure.

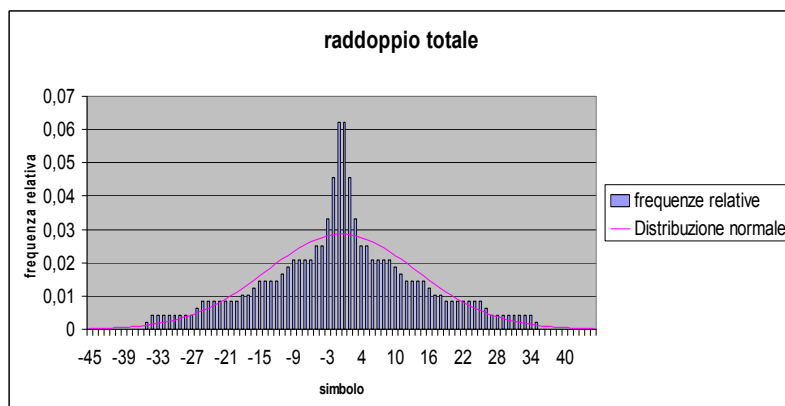
Ribaltando il grafico delle frequenze riportate nelle figure rispetto all'asse delle ordinate, ossia generando una distribuzione speculare rispetto all'asse delle ordinate, si ottiene un andamento simmetrico degli istogrammi e, quindi, è lecito considerare il grafico ottenuto come una discretizzazione della distribuzione normale.



Distribuzione delle frequenze della faccia A dopo il ribaltamento rispetto all'asse delle ordinate.



Distribuzione delle frequenze della faccia B dopo il ribaltamento rispetto all'asse delle ordinate.



Distribuzione delle frequenze totale dopo il ribaltamento rispetto all'asse delle ordinate.

Sono stati infine valutati gli indici di posizione, dispersione e forma anche per la distribuzione di dati raddoppiata, come riassunto in tabella.

INDICI DI POSIZIONE	Faccia A	Faccia B	Disco totale
1° quartile	-7,25	-9	-8
3° quartile	7,25	9	8
INDICI DI DISPERSIONE			
Varianza	192,67	195,25	193,54
M.A.V.	10,40	10,97	10,68
m.a.v.	7,50	9,00	8,00
s.q.m.	13,88	13,97	13,91
INDICI DI FORMA			
Asimmetria	0	0	0
Curtosi	3,13	2,77	2,96

Indici statistici ottenuti a partire dalle distribuzioni delle frequenze dopo il raddoppio dei dati.

Dopo il raddoppio della distribuzione, i valori di m.a.v. e M.A.V. risultano ancora vicini a quelli riportati nella precedente tabella: ciò per definizione stessa dei due indici, ossia rispettivamente di deviazione mediana dei moduli rispetto alla mediana e di deviazione media assoluta dalla mediana. I valori di varianza, e quindi di s.q.m., risultano superiori a quelli precedenti, poiché raddoppiando la distribuzione aumenta la sua dispersione. I valori di asimmetria riportati in tabella risultano pressoché nulli poiché, raddoppiando la distribuzione, si è ottenuta una distribuzione esattamente simmetrica. Infine, per quanto riguarda la curtosi, benché si avvicini in tutti e tre i casi al valore 3 e, quindi, alla normalità, la faccia A risulta leptocurtica, la B e il disco nel complesso platicurtici.

La posizione dei simboli nei segmenti

Per questo tipo di studio, si sono numerati i segmenti di ogni faccia del Disco dall'interno verso l'esterno. Nella faccia A sono presenti 31 segmenti, indicati con A1, A2...A31, mentre sulla faccia B si possono contare 30 segmenti, denominati B1,B2...B30. La lunghezza dei segmenti varia sia fra le due facce che all'interno di ognuna di esse. Sul segmento A si possono osservare segmenti formati da un minimo di 2 simboli ad un massimo di 7, mentre il lato B presenta sequenze lunghe da 2 a 5 caratteri. L'analisi consiste nel trovare se su ogni faccia sono ripetute sequenze di simboli. La numerazione dei caratteri è sempre quella fornita inizialmente. Dall'osservazione diretta si è evidenziato quanto segue:

A1-A4 segmenti identici formati dalla sequenza 38-3-10

A6-A31 segmenti identici formati dalla sequenza 1-13-12-2

A11-A17 segmenti identici formati dalla sequenza 1-28

A3-A15 segmenti identici formati dalla sequenza 21-37-35-27-12-2

A9-A24 segmenti identici formati dalla sequenza 2-12-28 (il segmento A9 ha in comune con A3 e A15 la sequenza 27-12-2)

A12-A18 segmenti identici formati dalla sequenza 18-23-10-25-27-2

A10-A13-A6 segmenti identici formati dalla sequenza 26-31-12-2

A7 segmento che ha in comune con A10, A13, e A16 i simboli 12, 26 e 31.

Inoltre sono presenti molte altre ripetizioni di sequenze formate da due simboli.

Dalla faccia B si evince invece:

B1-B7-B11-B29 segmenti in cui si ripete la sequenza 7-45

B2-B9 segmenti in cui si ripete la sequenza 25-23-34

B5-B10-B13 segmenti in cui si ripete la sequenza 8-7-36-29 (i segmenti B5-B10 sono uguali)

Anche in questo lato del disco si notano ripetizioni di sequenze di due simboli.

Confrontando le due facce del disco tuttavia non si riscontrano particolari sequenze ripetute in entrambi i lati, ad esclusione della coppia A29-B11. Questa differenza supporta quindi l'idea che le due facce del disco si riferiscano a periodi diversi (cioè le stagioni), in cui probabilmente si svolgevano attività del tutto differenti.

Analisi di dipendenza della variabile doppia

Lo studio della variabile statistica doppia è stato condotto a partire dalla realizzazione di matrici 45 x 45 contenenti all'interno di ogni cella la frequenza assoluta con cui una determinata successione di simboli si ripete all'interno della medesima faccia del disco.

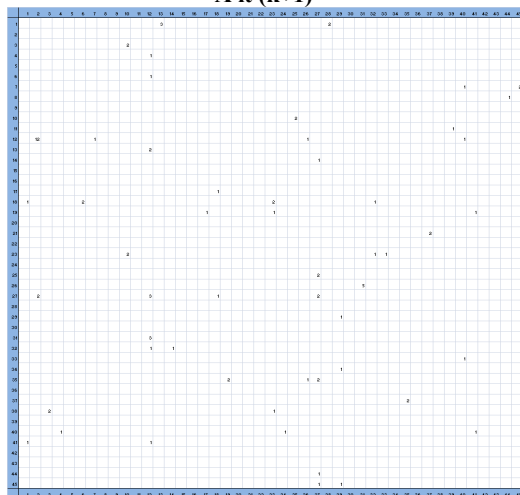
Si è scelto di individuare dapprima la frequenza con cui due simboli adiacenti si ripresentano (indicando con $k+1$ tale analisi); successivamente sono state realizzate analoghe matrici considerando il passo tra le sillabe pari a $k+2$. Dal momento che, come precedentemente illustrato, i simboli riportati sul disco sono suddivisi in gruppi mediante linee verticali, si è scelto dapprima di individuare la ricorrenza delle sole sillabe all'interno della medesima "parola" (non considerando quindi i simboli adiacenti appartenenti a segmenti differenti) e, in una seconda fase, di rilevare tale ricorrenza per le sole sillabe iniziali di parola.

Inoltre dal momento che il "discorso" presente sul disco è strutturato secondo una spirale, queste elaborazioni sono state sviluppate, sia per la faccia A che B, leggendo le combinazioni dei simboli sia dall'esterno del disco verso l'interno, che viceversa.

Si riportano tutte le matrici realizzate della variabile doppia relative ai passi $k+1$ e $k+2$ (successione di 2 e 3 simboli). Si sarebbero potute realizzare analoghe matrici considerando i passi tra le sillabe pari a $k+3$, $k+4$, $k+5$, $k+6$ (in quanto le "parole" sono costituite da un minimo di 2 a un massimo di 7 simboli) ma queste ultime sono state tralasciate per scarsità di ricorrenze rendendole poco rappresentative. A maggior ragione ha poco senso e significato un'analisi delle ricorrenze tra le "parole" (in tutto rispettivamente 31 e 30 per le facce A e B). Infatti uno studio della variabile doppia richiede quantomeno un centinaio di dati ed evidentemente un terzo di questi non costituisce un campione capace di fornire stime consistenti.

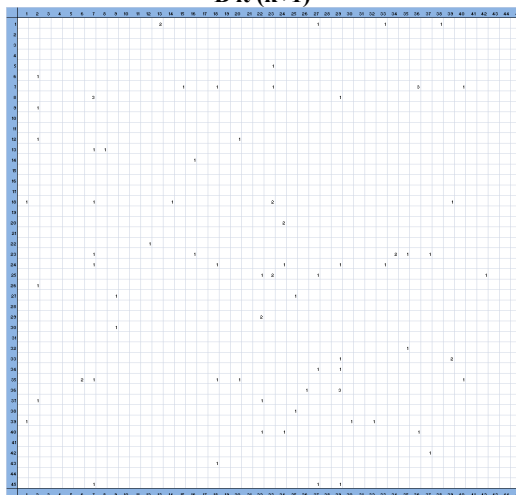
Lato A
interno → esterno t tutte le parole ($k+1$)

A it ($k+1$)



Lato B
interno → esterno t tutte le parole ($k+1$)

B it ($k+1$)



Connessione e regressione: indici di Bonferroni e Pearson

Per individuare l'eventuale presenza di una connessione all'interno della variabile doppia sono stati calcolati gli indici di Bonferroni e di Pearson (unilaterali e bilaterali).

Gli indici di Bonferroni ottenuti sono i seguenti:

	β_x	β_y	β_0	β_1
A et (k+1)	0.931	0.924	0.928	0.928
A et (k+2)	0.894	0.819	0.856	0.855
A it (k+1)	0.924	0.931	0.928	0.928
A it (k+2)	0.815	0.888	0.851	0.850
A e1 (k+1)	0.989	0.931	0.960	0.959
A e1 (k+2)	0.978	0.719	0.839	0.829
A i1 (k+1)	0.968	0.944	0.956	0.956
A i1 (k+2)	0.905	0.908	0.906	0.906
B et (k+1)	0.888	0.892	0.890	0.890
B et (k+2)	0.863	0.868	0.866	0.866
B it (k+1)	0.892	0.888	0.890	0.890
B it (k+2)	0.868	0.863	0.866	0.866
B e1 (k+1)	0.897	0.836	0.866	0.865
B e1 (k+2)	0.847	0.798	0.822	0.822
B i1 (k+1)	0.885	0.867	0.876	0.876
B i1 (k+2)	0.941	0.909	0.925	0.925

Gli indici di Pearson ottenuti sono i seguenti:

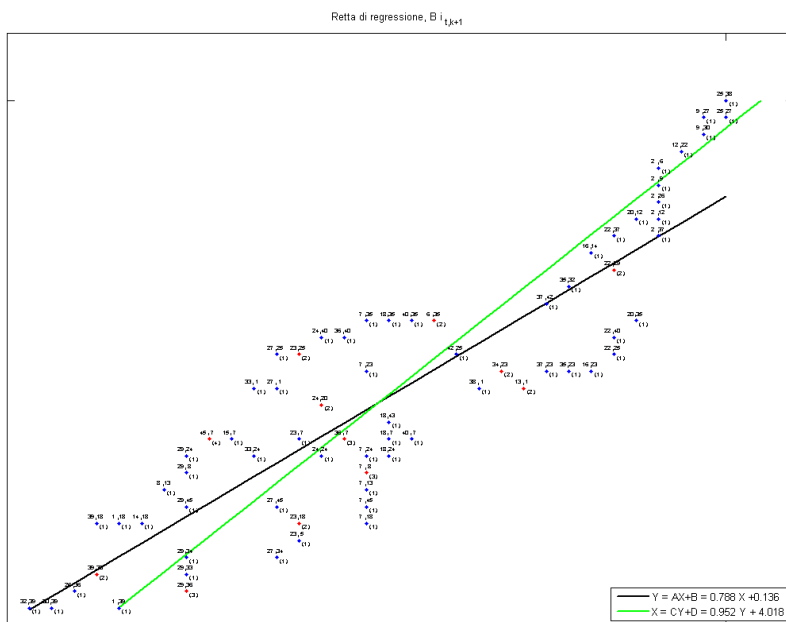
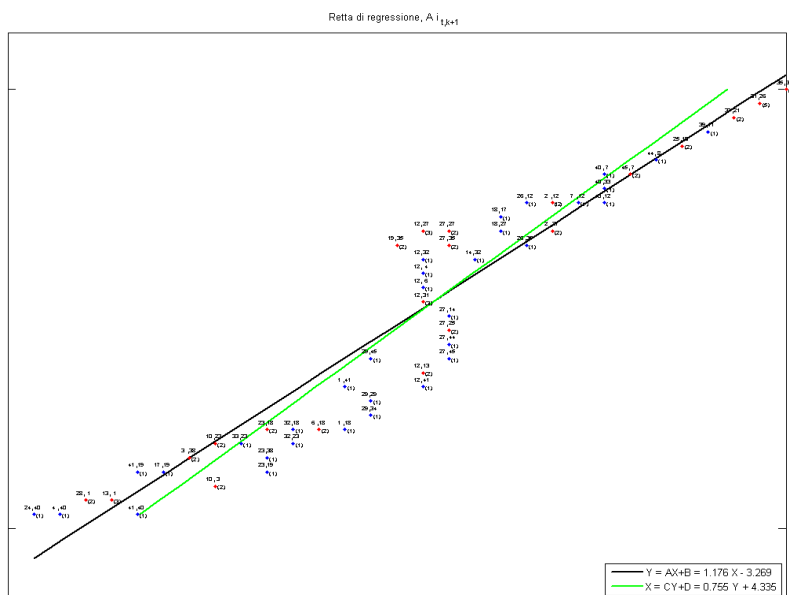
	η_x^2	η_y^2	η^2
A et (k+1)	0.640	0.650	0.645
A et (k+2)	0.175	0.772	0.508
A it (k+1)	0.650	0.640	0.645
A it (k+2)	0.755	0.175	0.497
A e1 (k+1)	0.904	0.971	0.937
A e1 (k+2)	0.419	0.983	0.696
A i1 (k+1)	0.717	0.800	0.755
A i1 (k+2)	0.778	0.364	0.586
B et (k+1)	0.452	0.482	0.467
B et (k+2)	0.459	0.413	0.438
B it (k+1)	0.482	0.452	0.467
B it (k+2)	0.413	0.459	0.438
B e1 (k+1)	0.500	0.653	0.572
B e1 (k+2)	0.529	0.558	0.542
B i1 (k+1)	0.674	0.550	0.613
B i1 (k+2)	0.373	0.719	0.580

Correlazione: dipendenza lineare

A causa dell'elevato valore degli indici di Bonferroni precedentemente ottenuti, è possibile affermare che non sussiste indipendenza all'interno della variabile doppia, tuttavia la presenza di una connessione non è sufficiente per determinare il tipo di dipendenza esistente.

Volendo considerare la possibilità di un'eventuale dipendenza lineare all'interno della variabile doppia, mediante un apposito programma sono stati riorganizzati i dati in modo tale da valutare se effettivamente essi si distribuiscono approssimativamente secondo una retta.

Sono riportate le rette di regressione ottenute relative al lato A e B riferite ai 16 casi precedentemente considerati.



	r = coeff. di correlazione lineare	$\sigma_{\alpha x}$	$\sigma_{\alpha y}$	η^2_x	η^2_y	η^2
A et (k+1)	0.94	2.178	3.310	0.975	0.951	0.960
A et (k+2)	0.90	1.668	3.436	0.937	0.942	0.941
A it (k+1)	0.94	2.754	2.611	0.956	0.977	0.964
A it (k+2)	0.89	3.228	1.854	0.919	0.934	0.922
A e1 (k+1)	0.96	0.820	0.524	0.997	0.994	0.996
A e1 (k+2)	0.85	1.376	2.207	0.991	0.854	0.889
A i1 (k+1)	0.96	0.713	0.684	0.995	0.992	0.993
A i1 (k+2)	0.94	0.884	0.856	0.984	0.982	0.983
B et (k+1)	0.86	3.981	3.973	0.823	0.861	0.840
B et (k+2)	0.87	3.111	2.700	0.863	0.841	0.854
B it (k+1)	0.87	3.652	4.368	0.863	0.824	0.842
B it (k+2)	0.88	2.438	3.300	0.870	0.860	0.864
B e1 (k+1)	0.92	0.997	1.685	0.967	0.943	0.949
B e1 (k+2)	0.83	1.429	2.299	0.915	0.834	0.856
B i1 (k+1)	0.94	1.045	0.959	0.962	0.959	0.960
B i1 (k+2)	0.94	0.849	1.037	0.978	0.975	0.976

Avendo ottenuto dei valori di r elevati è possibile affermare che i dati sono ben distribuiti attorno alle rette stimate. Per completezza si riportano anche gli indici di Pearson (unilaterali e bilaterali), calcolati sui dati riordinati.

Grafi per la visualizzazione delle successioni tra sillabe nelle due facce

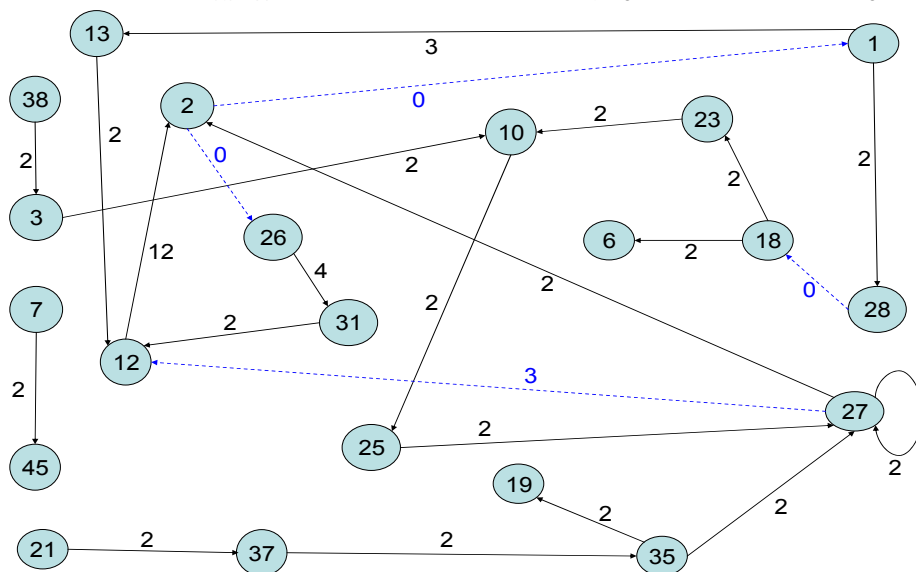
L'idea utilizzata per analizzare con la tecnica dei grafi il Disco di Festo è quella di rappresentare come nodi i simboli disegnati sul disco e collegarli con archi in base alle ricorrenze tra sillabe all'interno di una parola. Per facilitarne la lettura, in ogni grafo sono rappresentati solo alcuni nodi (quelli relativi ai simboli che soddisfano le richieste dei criteri) e sono numerati secondo la seguente tabella di corrispondenze numero-carattere:

1		10		19		28		37	
2		11		20		29		38	
3		12		21		30		39	
4		13		22		31		40	
5		14		23		32		41	
6		15		24		33		42	
7		16		25		34		43	
8		17		26		35		44	
9		18		27		36		45	

Corrispondenze numero-carattere.

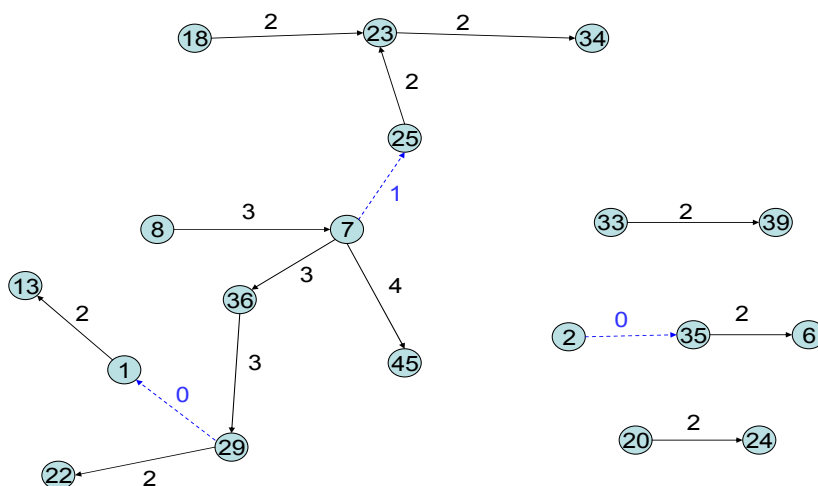
Si traccia un arco dal nodo i al nodo j solo se il numero di volte che il simbolo j segue il simbolo i , all'interno di una stessa parola, è maggiore di una soglia prestabilita. Di conseguenza non vengono conteggiati due simboli consecutivi che cadono in due parole diverse. Nei grafi seguenti si è scelta come soglia 2; il peso di ciascun arco è il numero di volte in cui il simbolo j segue il simbolo i . L'ordine dei simboli (e quindi delle parole) è considerato sempre dall'interno verso l'esterno.

Faccia A: Grafo in cui l'arco (i,j) rappresenta il numero di volte in cui il simbolo j segue il simbolo i in uno stesso segmento



Faccia B del disco:

Grafo in cui l'arco (i,j) rappresenta il numero di volte in cui il simbolo j segue il simbolo i in uno stesso segmento



Guardando il grafo della faccia A, si può dedurre, ad esempio, che l'attività rappresentata dal simbolo 2 segue l'attività rappresentata dal simbolo 12 per ben 12 volte e l'attività rappresentata dal simbolo 18 dovrebbe essere successiva all'attività rappresentata dal simbolo 28, di conseguenza può essere ragionevole ritenere che queste due attività dovessero essere eseguite consecutivamente per raggiungere un particolare obiettivo (per esempio l'inizio di una determinata attività era vincolata al completamento di un'altra in precedenza, nell'ipotesi, comunque non confermata, che il disco sia un calendario).

Osservazioni analoghe possono essere fatte relativamente ai grafi della faccia B, ad esempio, evincendo che la sequenza ripetuta con più frequenza è quella fra i caratteri 7 e 45, che si presenta per 4 volte.

Un'osservazione conclusiva mette in luce un numero particolarmente esiguo (4 nel grafo della faccia A e 3 in quello della faccia B) di ricorrenze multiple diverse (ovvero superiori alla soglia 2, e qui indicate comunque con il numero 0) tra due parole adiacenti, confermando ulteriormente l'intraducibilità del discorso del Disco.

Ringraziamenti

Il presente lavoro è stato svolto nell'ambito del Dottorato di Ricerca in Geomatica e Infrastrutture (22° ciclo) del Politecnico di Milano e ha portato alla stesura della Tesi di Dottorato: Analisi statistica del Disco di Festo, di cui il Prof. Luigi Mussio è stato Tutore e Relatore.

Bibliografia

1. Balistier T. (2000): The Phaistos Disc - an account of its unsolved mystery, Thomas Balistier Verlag
2. Bennett, Emmett L. (1996): Alfabeti egei, (in: I sistemi di scrittura nel mondo, Peter T. Daniels e William Bright (Editori.) Oxford: University Press.
3. Chadwick J. (1958): The Decipherment of Linear B, Cambridge University Press
4. Duhoux Y. (1977): Le disque de Phaistos, Leuven
5. Duhoux Y. (2000): Come non decifrare il disco di Festo, American Journal of Archaeology, Vol. 104, n° 3 p. 597-600
6. Evans A. J. (1909): Scripta Minoa, i documenti scritti della Creta minoica, con speciale riferimento agli archivi di Cnosso, Classic Books
7. Faure P. (2003) "Tourne disque", l'enigma del disco di Festo, Notre Histoire n°213
8. Faucounau J. (1999): Le déchiffrement du Disque de Phaistos, L'Harmattan, Paris
9. Gaur A. (1984): Una storia di scrittura, Charles Scribner's Sons.
10. Glotz G., Dobie M. R., Riley E. M. (1925): La Civiltà Egea, A. A. Knopf
11. Godart L. (1994): Il disco di Festo. L'enigma di una scrittura, Einaudi, Saggi, Torino
12. Kober A. (1948): Gli alfabeti minoici: fatti e teorie. American Journal of Archaeology, Volume 52, pp. 82 – 103.
13. Madau E.G. (2007): "Il disco di Phaistos- un nuovo approccio e una sua traduzione" Zonza Editori
14. Robinson A. (2008): The Phaistos code: Write only . Nature: 990–991.
15. Sornig K. (2006): L'ultima valutazione . Grazer Linguistische Studien: 151–155.
16. Torsten T. (2005): Der Diskos von Phaistos – Fremdeinfluss oder kretisches Erbe, BoD
17. Trauth M. (1990): Il disco di Festo e l'avvocato del diavolo. Sulle teorie di un antico argomento di ricerca., Glottometrika 12, pp. 151 – 173.
18. International Phaistos Disk Conference 2008, sponsorizzata da Minerva Magazine abstracts

Comparazione fra metodiche per la valutazione della vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi. Applicazione all'acquifero del Sulcis Iglesiente (Sardegna meridionale)

Romina Secci, Gabriele Uras

PhD Università di Cagliari, Facoltà di ingegneria, Dipartimento di Ingegneria del Territorio
Via Marengo 3, Cagliari, e-mail: romisecci@tiscali.it
Professore associato, e-mail: urasg@unica.it, Tel. 0706755161

Abstract

The assessment of the vulnerability of aquifers is a key instrument for planning the methods of environmental resources protection. This research compares three scoring and weighting methods to assess the intrinsic vulnerability of the carbonate aquifer systems. In particular, we have applied the SINTACS method (Civita, 1994), the EPIK method (Doerfliger N., Jeannin PY, Zwahlen F., 1999) and the COP method (Vias et al., 2006). The study focused on the area of the so-called "small metal ring", near the town of Iglesias, in the south of Sardinia. The peculiarity of this area lies in the fact that for millennia it has been exploited by mining of lead-zinc mines, among the most productive in the world. These activities have left a precarious environment, as potentially polluting landfill opencast mining sites are scattered throughout the area. The analysis of the results has led to develop a methodology for assessing the vulnerability more effective than the others and to highlight the critical issues of each method. With the identification of those areas inherently more vulnerable, we laid the ground for the planning of reclamation of the most vulnerable sites. The study is also preparatory to a larger scale research aimed at the protection and sustainable exploitation of the environment and water resources in the area.

Sommario

La valutazione della vulnerabilità degli acquiferi è uno strumento determinante per la pianificazione di metodi di salvaguardia delle risorse ambientali. In questa ricerca si è effettuata una comparazione fra tre metodi a punteggi e pesi per la valutazione della vulnerabilità intrinseca dei sistemi acquiferi di tipo carbonatico. In particolare si sono applicati il metodo SINTACS (Civita, 1994), il metodo EPIK (Doerfliger N., Jeannin P.Y., Zwahlen F., 1999) ed il metodo COP (Vias et al., 2006). Lo studio si è incentrato sulla zona del cosiddetto "piccolo anello metallifero", in prossimità del comune di Iglesias, situato nel sud della Sardegna. La peculiarità di questa zona risiede nel fatto che per millenni è stata sfruttata dalle attività estrattive delle miniere piombo-zincifere, tra le più produttive al mondo. Queste attività hanno lasciato una situazione di precarietà ambientale, in quanto tutto il territorio è disseminato di discariche minerarie a cielo aperto potenzialmente inquinanti. L'analisi dei risultati ottenuti ha portato a definire una metodologia di valutazione della vulnerabilità più efficace delle altre e a mettere in evidenza le criticità di ogni metodo. Con l'individuazione delle zone del territorio intrinsecamente più vulnerabili si sono poste le basi per la pianificazione di bonifiche dei siti maggiormente vulnerabili e per lo sfruttamento ecosostenibile delle risorse.

Inquadramento geografico e geologico dell'area.

L'area in esame ricade all'interno delle Carte Tecniche Regionali al n. 555060, 555070, 555100, 555110 della Regione Autonoma della Sardegna, il foglio IGM al 25.000 di riferimento è il foglio Iglesias, numero 555. La zona si trova per la maggior parte all'interno del Comune di Iglesias e in misura minore all'interno del territorio comunale di Gonnese.

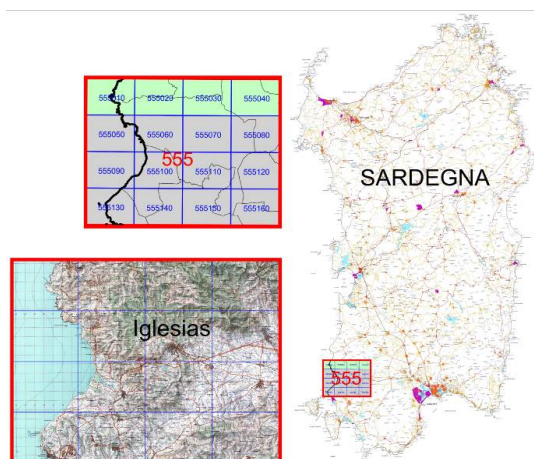


Figura 1 – Inquadramento dell'area (da Uras, Pintore, 2009).

Di questa zona si è considerata l'area ricadente all'interno del cosiddetto anello metallifero, delimitata da strutture carsiche all'interno delle quali sono presenti diversi giacimenti minerali. Il termine anello metallifero, (Merlo, 1904), indica il grande anello carbonatico che circonda il nucleo di metarenarie e filliti nei pressi della città di Iglesias (fig. 2a), che comprende anche il piccolo anello passante per le località di Monteponi, Campo Pisano e San Giovanni (fig.2b). La struttura dell'anello metallifero delimita l'acquifero carsico del Sulcis. Nel "piccolo anello" sono ubicati la maggior parte dei pozzi minerari monitorati mensilmente per anni dalla società IGEA, società deputata al controllo delle acque dopo la cessazione delle attività minerarie. La presenza e la precisione di questa moltitudine di dati riguardanti la falda acquifera sotterranea ha consentito di effettuare delle analisi precise sulla vulnerabilità all'inquinamento della zona.

I numerosi cantieri minerari susseguitisi nel tempo hanno sensibilmente modificato la falda e anche il territorio sovrastante con scavi e discariche a cielo aperto. Negli ultimi dieci anni la situazione è notevolmente peggiorata, infatti, con l'abbandono delle attività minerarie la falda è risalita e si sta contestualmente determinando un grave danno ambientale.

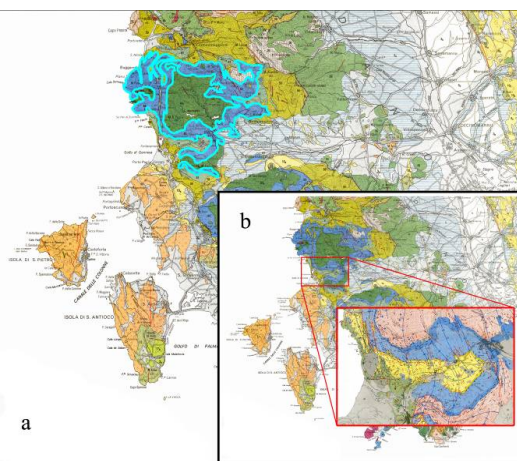


Figura 2 – Il grande (a) ed il piccolo (b) anello metallifero (da Uras, Pintore, 2009).

Caratteristiche geologiche

La geologia dell'area è caratterizzata da terreni di antica formazione, appartenenti alla successione del Cambrico inferiore e medio. Si tratta di tre formazioni denominate “*Nebida*”, “*Gonnesa*” e “*Cabitza*”. Le formazioni sono di seguito descritte in successione cronologica e in base alla natura originaria delle rocce:

- *Gruppo di Nebida*

Il gruppo di Nebida è suddiviso in due membri: Mattoppa e Punta Manna. Il più antico (Mattoppa), è costituito da un'alternanza argilloso-arenacea che diviene sempre più siltitica e arenacea procedendo da sud verso nord e nord ovest. Alla base del membro di Punta Manna si trova un orizzonte oolitico lungo chilometri che presenta spessori fino a 100 m, poggiante su depositi terrigeni e localmente sui calcari. Segue a questa un'alternanza di arenarie, talvolta con stratificazioni incrociate e di calcari più o meno dolomizzati. Nelle facies calcaree sono presenti strutture sedimentarie e frammenti di fossili.

- *Gruppo di Gonnesa*

Il gruppo di Gonnesa costituito essenzialmente da litofacies carbonatiche è rappresentato dal membro della *dolomia rigata*, dal membro della *dolomia grigia* e dal membro del *calcare cerioide*.

Il membro della dolomia rigata si sovrappone stratigraficamente al membro di Punta Manna ed è costituito da una sequenza ben stratificata di dolomia primaria alternata a stromatoliti e pisoliti vadose, spesso caratterizzata dalla presenza di livelli di ossidi ed idrossidi di ferro.

- *Gruppo di Cabitza*

Il gruppo di Cabitza è rappresentato dal membro del calcare nodulare con scarsi affioramenti e dal membro degli Scisti di Cabitza. In discordanza con i terreni cambrici si individua la formazione ordoviciana costituita da conglomerati color rosso vinaccia (puddinga ordoviciana) a cui fanno seguito alternanze di arenarie, siltiti e argilliti. Sulle formazioni deformate dall'orogenesi ercinica si rinvengono depositi lacustri del carbonifero inferiore in discordanza. Tali depositi costituiscono i sedimenti del bacino di S. Giorgio che hanno uno spessore di 30 m.

Idrostrutture del metallifero.

L'acquifero principale è costituito dai carbonati e dalle dolomie delle formazioni di S. Barbara e di S. Giovanni che costituiscono il gruppo di Gonnesa. Sulla base dei dati geologico strutturali, dell'andamento delle superfici piezometriche costruite con dati provenienti dai censimenti dei punti d'acqua e delle piezometrie rilevate nei cantieri minerari, mediante l'utilizzo di modelli di calcolo, sono state rilevate nell'iglesiente 26 idrostrutture elementari (Civita, 1983). Il sistema acquifero principale è stato definito come una serie di serbatoi semidipendenti denominati SERSEM, posti parte in serie e parte in parallelo tra loro. I SERSEM sono caratterizzati da piezometriche diverse (in alcuni casi anche sensibilmente). I SERSEM sono separati da discontinuità strutturali, fratture, sedimenti e cavità carsiche, ed è per questo che l'andamento della piezometrica è condizionato dalla presenza e dalla direzione delle fratture più che dai giunti di stratificazione. Nella figura seguente è possibile vedere la ricostruzione dei limiti dei SERSEM principali.

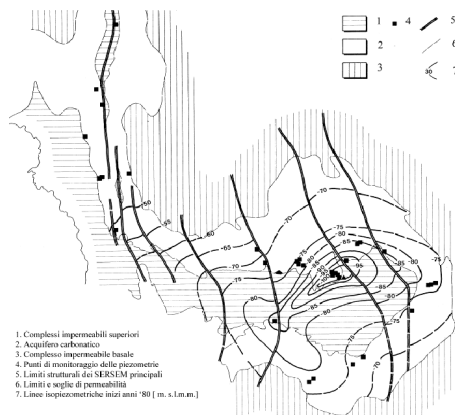


Figura 3 – Limiti dei SERSEM – (da Civita, 1983 modificata).

I metodi di valutazione della vulnerabilità intrinseca all'inquinamento

Per vulnerabilità intrinseca si intende *“la suscettibilità dei sistemi acquiferi, nelle loro parti componenti, e nelle diverse situazioni geometriche ed idrodinamiche, ad ingerire e diffondere, anche mitigandone gli effetti, un inquinante fluido o idroveicolato tale da produrre un impatto sulla qualità delle acque sotterranee, nello spazio e nel tempo”* (Civita, 1987). Diversi sono i metodi utilizzati per la valutazione della vulnerabilità intrinseca di un acquifero. In questo studio sono stati presi in considerazione diversi metodi parametrici a punteggi e pesi, due dei quali specificamente tarati per lo studio degli acquiferi carsici. In generale, i sistemi parametrici si sviluppano tutti secondo il seguente schema:

- vengono selezionati i parametri sui quali effettuare la valutazione della vulnerabilità e successivamente a questi parametri viene assegnato un punteggio arbitrario in funzione dell'importanza che esso assume nella valutazione complessiva;
- ogni parametro possiede un suo range di variabilità, che viene suddiviso in intervalli di valori; questo parametro viene a sua volta moltiplicato per un fattore moltiplicatore (peso) che evidenzia l'importanza che lo stesso assume nel contesto della valutazione della vulnerabilità;
- dalla combinazione lineare dei parametri pesati si ottiene il valore finale della vulnerabilità, valore che può essere quantitativo o qualitativo a seconda del sistema utilizzato.

Il metodo SINTACS

Il primo dei metodi applicati al contesto per la valutazione della vulnerabilità, è il metodo SINTACS (Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche del Centro Nazionale per le Ricerche, Civita et al.). L'acronimo SINTACS deriva dai parametri che vengono presi in considerazione, corrispondenti agli stessi parametri dell'analogo modello DRASTIC (USEPA 1983,1987) e cioè S=Soggiacenza, I=Infiltrazione efficace, N=Effetto di autodepurazione del Non saturo, T=Tipologia della copertura, A=Caratteristiche idrogeologiche dell'Acquifero, C=Conducibilità idraulica dell'acquifero, S=Acclività della Superficie topografica.

Il territorio in studio è stato discretizzato, per elementi finiti quadrati attraverso una griglia regolare, e per ogni area discretizzata sono calcolati i valori dei suddetti parametri. Una volta determinato il punteggio per ognuno dei parametri previsti dal modello SINTACS e per ogni elemento discretizzato del territorio, occorre individuare delle stringhe di pesi moltiplicatori, sulla base degli effettivi scenari identificati, cui corrisponderanno particolari situazioni idrogeologiche o di impatto. Valutati i sette parametri caratteristici del metodo e assegnate le relative stringhe di pesi, l'indice di vulnerabilità intrinseca $I_{SINTACS}$, per ogni area discretizzata, si ottiene dalla combinazione lineare dei pesi moltiplicati per il parametro corrispondente.

Questo indice viene normalizzato e a seconda del punteggio ottenuto viene assegnata la corrispondente classe di vulnerabilità.

Il metodo COP

Il metodo COP (Vias e altri, 2006) è un metodo studiato per valutare la vulnerabilità intrinseca degli acquiferi carsici all'inquinamento. COP è l'acronimo di Concentration, Overlying layers, e Precipitation. Il metodo, sviluppato in accordo all'European Approach (Daly et al. 2002; Goldscheider and Popescu 2004), si basa sul fatto che la protezione naturale dell'acquifero sotterraneo è fornita dalle proprietà e dallo spessore degli strati di suolo sovrastanti (fattore O) e che essa varia sia in funzione dell'infiltrazione, che può essere diffusa o concentrata (fattore C), sia dell'intensità delle precipitazioni (fattore P). Questo metodo è applicabile a diversi tipi di acquiferi carsici e a diverse condizioni climatiche. È stato testato in due acquiferi carsici della Spagna che presentano differenti caratteristiche climatiche, idrologiche ed idrogeologiche. Nel seguito viene riportata una figura che riassume il metodo nella sua complessità:

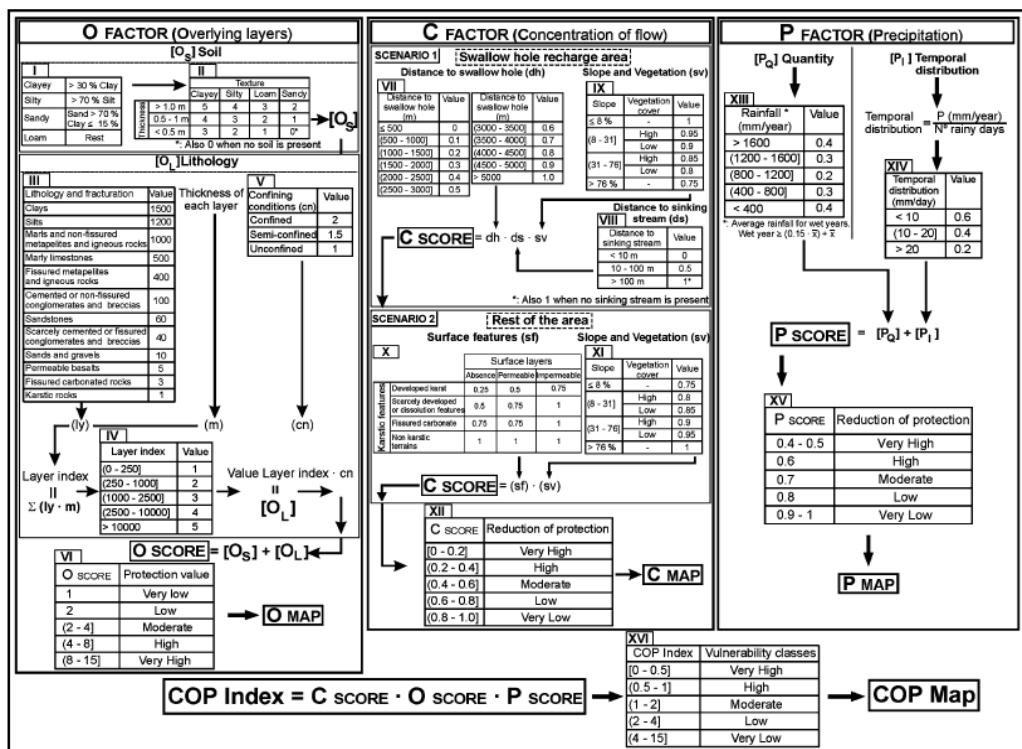


Figura 4 – Metodo COP (da Vias et al., 2006).

Il metodo EPIK

Il metodo EPIK (Costantin et al.; 2000) è un metodo parametrico a pesi e punteggi, specificamente sviluppato per classificare la vulnerabilità intrinseca degli acquiferi carsici all'inquinamento. Il metodo si basa sulle caratteristiche geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche degli acquiferi carsici. Nel metodo vengono considerati quattro parametri: Epikarst (E), Protective Cover (P), Infiltration Condition (I) e Karst Network Development (K), che corrispondono a quattro caratteristiche dell'acquifero influenzanti il flusso dell'acqua e le condizioni di trasporto attraverso il sistema carsico.

Applicazione del metodo SINTACS all'area in esame

L'intero territorio in esame di estensione pari a circa 43 km² è stato discretizzato suddividendolo in celle quadrate (EFQ) di 10 m di lato; per ogni EFQ, con strumenti GIS, sulla base dei dati forniti dalle società IGEA e ABBANOVA relativamente ai pozzi, si è calcolata la superficie piezometrica in periodo di piena ed il DTM della zona, riuscendo così a calcolare il valore della soggiacenza. Successivamente si è ricavato il dato relativo all'infiltrazione efficace, basandosi sulla cartografia geologica e pedologica, e sui valori di precipitazione media annua ed evapotraspirazione. L'Effetto di auto depurazione del non saturo e le caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero sono stati ricavati basandosi sui dati relativi alla litologia affiorante dell'area. Il parametro T è indicativo della capacità di attenuazione dei suoli ed è stato valutato anch'esso, come il punteggio I, sulla base della cartografia pedologica, tenendo conto in particolar modo della tessitura del suolo. La conducibilità idraulica è stata ricavata attraverso una correlazione con la trasmissività. Per le altre unità idrogeologiche, l'ordine di grandezza è stato valutato sulla base dei valori forniti dal metodo SINTACS per la stima indiretta di C, in funzione del complesso idrogeologico contenente

l'acquifero. Per la valutazione del parametro relativo all'acclività della superficie topografica è stato necessario costruire una carta divisa per classi di pendenza, elaborata a partire dal modello tridimensionale della superficie topografica; si è ottenuta in questo modo una carta in cui ad ogni EFQ corrisponde un determinato valore di pendenza percentuale che, inserito nel grafico fornito dal metodo SINTACS, permette di ricavare il relativo punteggio.

La maggior parte del territorio è occupata da discariche minerarie a cielo aperto, pertanto in un primo momento l'analisi della vulnerabilità ha portato ad individuare la maggior parte del territorio all'interno della stringa dell'impatto rilevante, senza considerare le caratteristiche intrinseche di carsismo dell'area, e ciò ha portato ad una carta della vulnerabilità che non rispecchiava pienamente le caratteristiche della zona. In seconda analisi si sono assegnate anche alcune aree coperte da discariche alla stringa del carsismo; fanno parte di questo scenario le zone dove sono presenti fenomeni carsici evidenti. In queste zone le acque attraversano condotti sub verticali riversandosi nel sottosuolo in tempi ridottissimi, con velocità molto maggiori rispetto ai processi di infiltrazione normali. E' ovvio che in queste situazioni, il processo di attenuazione degli inquinanti risulta praticamente nullo. La carta risulta più dettagliata e poiché prende in considerazione le aree carsiche fessurate e gli inghiottitoi, rispecchia maggiormente la situazione di vulnerabilità all'inquinamento della zona. In questa elaborazione le zone a vulnerabilità alta, corrispondono alle zone carsiche degradate e le zone a vulnerabilità elevata e molto elevata si trovano in corrispondenza della costa o di zone paludose. Le zone a vulnerabilità media corrispondono con le aree carsiche poco degradate. Le zone dove sono presenti gli scisti e le rocce ignee e le zone urbanizzate risultano appartenenti alle classi basse di vulnerabilità.

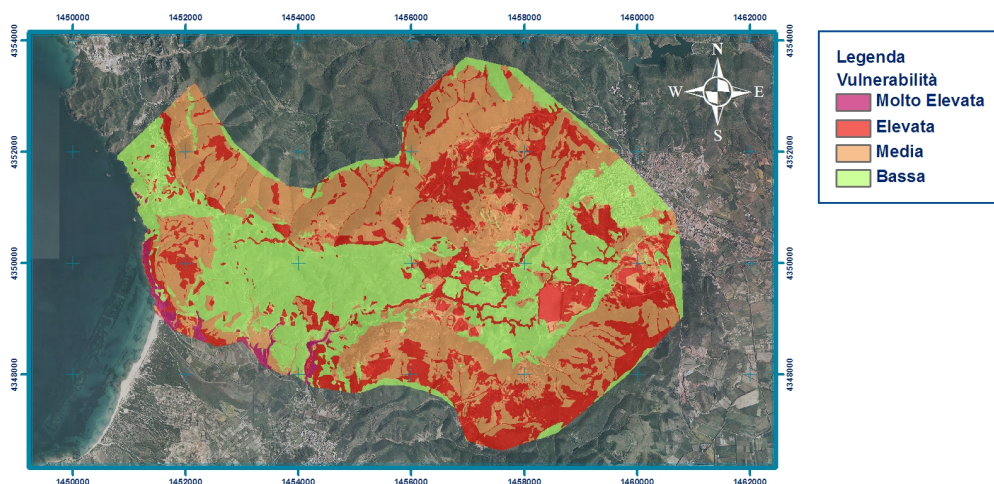


Figura 5 – Carta della vulnerabilità ottenuta con il metodo SINTACS e l'applicazione della stringa "Carsismo", riducendo da quattro a sei le classi di vulnerabilità per consentire un confronto con gli altri due metodi.

Applicazione del metodo EPIK all'area in esame

Il metodo prevede che la determinazione dell'epicarso avvenga attraverso dei parametri morfologici facilmente rilevabili dall'analisi territoriale di superficie. La determinazione del parametro protective cover sarebbe dovuta avvenire su basi esclusivamente pedologiche. Sarebbe stato necessario disporre dei dati di base completi sulle caratteristiche rappresentative del suolo in termini di spessore e orizzonti geologici, e da questi, in base alla tabella di conversione dell'attributo, determinare le classi di vulnerabilità. Ma la mancanza, (per quanto riguarda il territorio del Sulcis in particolare e di tutta la Sardegna in generale) di studi di dettaglio di stampo pedologico che fossero

reperibili, ha impedito di utilizzare al meglio la metodologia. Si è ovviato a tale inconveniente mediante la classificazione indiretta del territorio attraverso la carta dell'uso del suolo regionale (CORINE LAND COVER, 2008). Per quanto riguarda il parametro I esso riguarda le condizioni di infiltrazione nell'acquifero carsico, condizioni d'infiltrazione che possono passare da concentrata a diffusa. Il parametro K, invece rappresenta lo sviluppo della rete carsica. Dalle informazioni bibliografiche si evince che l'intero anello carbonatico ricade nella classe K1, in quanto presenta una rete carsica ben sviluppata. Il resto del territorio ricade quasi interamente in classe K2. Solo la zona paludosa di Funtanamare, a ridosso delle spiagge risulta in classe K3. Ai parametri Epikarst e Infiltration Condition, si è attribuita una maggiore importanza rispetto agli altri due. In particolare, all'attributo P è associato il peso minore (peso=1), quindi a questo è associata l'influenza minore nella valutazione dell'indice finale di vulnerabilità. Dall'analisi della cartografia risultante dall'overlay mapping si evince che la maggior parte dell'area in studio ricade in zone a vulnerabilità elevata o molto elevata. In particolare, l'intero anello carbonatico ricade nella classe di vulnerabilità molto elevata, ovviamente ciò è dovuto alla maggior influenza dei parametri E ed I, che assumono valori molto elevati nelle zone carsiche. La zona centrale che è occupata dagli scisti risulta invece appartenente alla classe elevata. Le aree antropizzate e le aree industriali, dove il suolo è stato classificato come impermeabile ricadono invece nella classe di vulnerabilità bassa. È importante ribadire, come la scelta dei punteggi e dei pesi assegnati agli attributi sia, in questo metodo, caratterizzata da una totale soggettività.

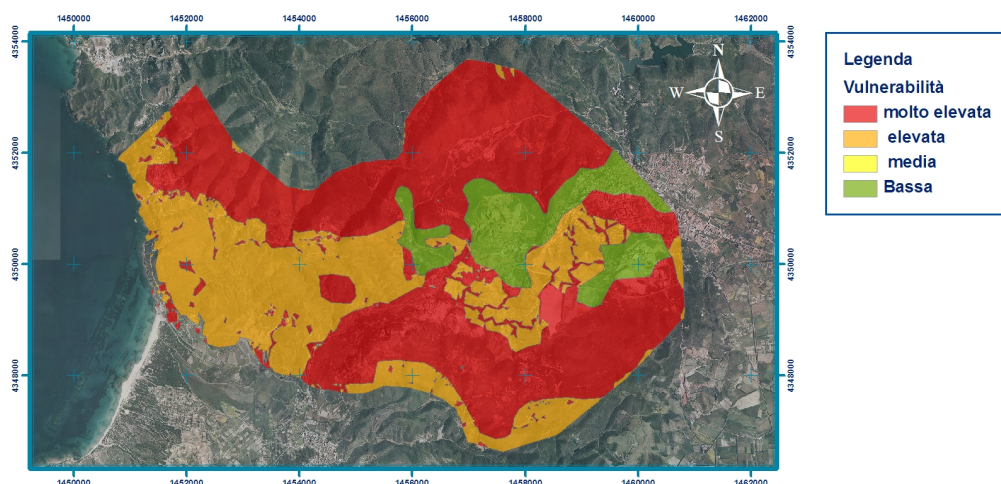


Figura 6 – Carta della vulnerabilità ottenuta dall'applicazione del metodo EPIK.

Applicazione del metodo COP all'area in esame

Per l'applicazione del metodo si è discretizzato il territorio come negli altri metodi, in modo che fossero confrontabili. Il fattore C rappresenta la capacità dell'acqua di aggirare gli strati protettivi sovrastanti (Daly et al. 2002), cioè il modo in cui le precipitazioni o un vicino acquifero si infiltrano concentrandosi in un inghiottitoio, non coinvolgendo la zona non satura. La posizione di inghiottitoi, fratture, faglie e grotte di origine carsica è stata ricavata dalla Cartografia Geologica Regionale. La posizione delle grotte è stata individuata digitalizzando e georeferenziando i dati ricavati dal catasto delle grotte censite dai Gruppi Speleologici della zona. Il valore del parametro P è dato dalla somma dei punteggi di due sub fattori: il subfattore P_Q che rappresenta la quantità di pioggia media annua all'interno del bacino e il sub fattore P_I [(mm/giorno)/n° giorni piovosi all'anno]. I dati meteorologici di base sono quelli del SISS (Studio dell'Idrologia Superficiale della Sardegna, Servizio idrografico, 1992) dal 1922 all'anno 1992 già utilizzati per le elaborazioni del

metodo SINTACS. Il parametro O è il frutto della combinazione di due sub fattori: il sub fattore suolo Os, e il sub fattore O_L litologia.

Il subfattore Os ingloba la valutazione di diversi parametri relativi alla matrice organica del suolo, all'interno della quale avvengono i processi di attenuazione, tessitura, grana, distribuzione dimensionale e spessore.

La valutazione del sub fattore O_L riflette la capacità di attenuazione entro gli strati della zona insatura. Esso si valuta a seconda del tipo di roccia, della porosità efficace e della conducibilità idraulica, il grado di fratturazione (ly), lo spessore di ogni strato (m) e le eventuali condizioni di confinamento dell'acquifero (cn). L'indice COP è dato dal prodotto dei punteggi attribuiti ai tre parametri $CxOxP$. Il fattore che ha maggior incidenza sui punteggi finali è il sub fattore O, dal quale dipendono tutti gli altri. Le zone che ricadono nella classe Very Low corrispondono alle zone in cui i fattori C e P hanno poca influenza sulla protezione. Le classi moderate e basse si riferiscono alle zone dove la protezione è bassa di media, nelle quali C e P non hanno una influenza decisiva sulla vulnerabilità (influenza che hanno in alta e altissima classe).

La carta ottenuta mostra che quasi la totalità del territorio è soggetta ad un'altissima vulnerabilità all'inquinamento e che solo qualche zona, dove sono presenti dolomie o calcare non carsificato presenta vulnerabilità bassa o bassissima.

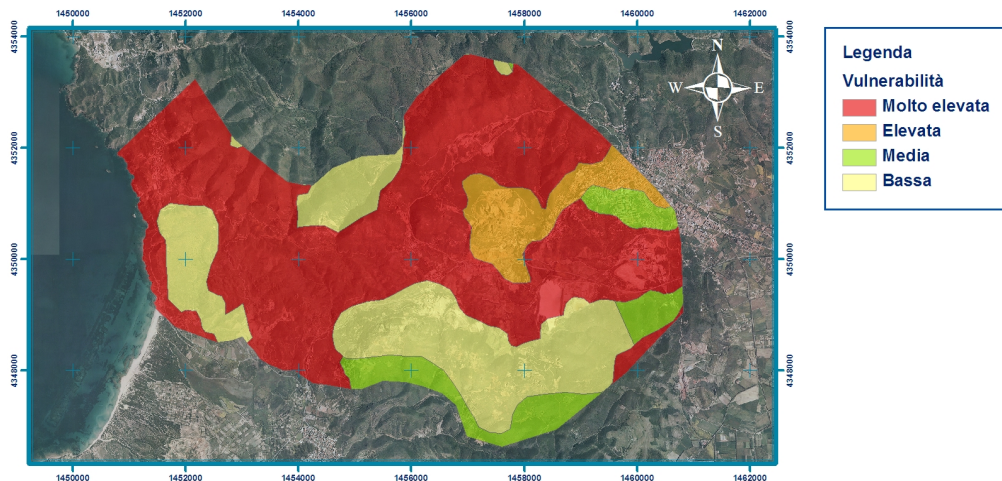


Figura 7 – Carta della vulnerabilità ottenuta dall'applicazione del metodo COP.

Risultati a confronto

In generale si può dire che tutti e tre i metodi evidenziano una vulnerabilità medio alta dell'anello carbonatico dovuta al fatto che l'infiltrazione efficace assume valori elevati in prossimità di fratture e inghiottitoi che permettono agli inquinanti idrotrasportati un accesso rapido e diretto alla falda acquifera sotterranea. Le carte ottenute con i tre metodi non sono sovrapponibili ad una prima analisi, questo è dovuto principalmente al fatto che, i metodi di valutazione della vulnerabilità intrinseca applicati, si basano su dati di input diversi e con diversa precisione di base. E' evidente che i risultati ottenuti con il metodo COP e con il metodo EPIK risultano più simili tra loro rispetto a quelli ottenuti con il metodo SINTACS. Ciò è spiegabile considerando il fatto che i due metodi (COP ed EPIK) sono stati tarati appositamente per lo studio degli acquiferi di tipo carbonatico e pertanto assegnano un punteggio elevato ai parametri strettamente dipendenti dal carsismo, dalla pendenza e dall'infiltrazione. Inoltre essi si basano quasi esclusivamente su dati di input di origine pedologica. Questo influisce negativamente sulla precisione dei metodi, sia per lo scarso dettaglio della cartografia dei suoli a disposizione per la Sardegna (la variabilità dei suoli, dove presenti è

importante e non si può prescindere dalla sua conoscenza per ottenere un risultato affidabile), sia per il fatto che il suolo presente al di sopra degli strati carbonatici del piccolo anello metallifero è sottilissimo quando non inesistente, e perciò tale parametro non risulta fondamentale per effettuare la valutazione delle dinamiche che interagiscono con la vulnerabilità.

La cartografia pedologica utilizzata, ha un dettaglio scarso in quanto è basata su uno studio in scala 1:250.000 e non esistono cartografie più dettagliate. Per alcune zone dove i dati sono imprecisi se non inesistenti si è dovuto ovviare con l'utilizzo di dati pedologici presenti negli attributi della carta dell'uso del suolo.

Il metodo SINTACS, invece, utilizza diversi parametri basati più sulla geologia che sulla pedologia e poiché i dati geologici a disposizione per la zona in esame sono molto più precisi di quelli pedologici, è stato possibile effettuare con questo metodo un'analisi più dettagliata della zona rispetto ai metodi precedenti. Si può notare anche una similitudine tra le zone individuate ad elevata vulnerabilità nella cartografia del metodo SINTACS ottenuta con la stringa del "carsismo" e i risultati rappresentati attraverso il metodo EPIK. A grandi linee infatti, nonostante vi sia una differenza di classazione, le zone carbonatiche sono evidenziate in entrambi i metodi come zone altamente vulnerabili. La similitudine è dovuta al fatto che con la stringa del "carsismo" si attribuisce una maggiore importanza agli effetti prodotti dall'infiltrazione e alla presenza di fenomeni carsici.

Fra i tre metodi utilizzati quello meno affidabile è forse il metodo EPIK in quanto la scelta dei punteggi e dei pesi assegnati ai parametri è caratterizzata da una totale soggettività e può variare molto da un utente ad un altro. Inoltre tale metodo necessiterebbe per una precisione maggiore di dati continui relativi allo spessore dello strato carbonatico e dell'Epicarso (zona che si trova immediatamente al di sotto del suolo e altamente fessurata, e la sua formazione è dovuta alla dissoluzione delle rocce e alla formazione di pressioni in prossimità della superficie del terreno), dati che però non è sempre facile reperire se non in maniera sporadica e puntuale. Non è pensabile che tali dati possano essere precisi quando si studiano aree così vaste. Probabilmente tale metodo sarebbe applicabile con una maggiore resa in bacini idrogeologici molto piccoli.

Il metodo COP ha il vantaggio di essere un metodo semplice e che si può applicare in maniera speditiva, essendo basato su tre semplici parametri i cui dati si possono facilmente dedurre dalla cartografia aerea, senza bisogno necessariamente di indagini di campagna. Avendo a disposizione dati pedologici precisi si potrebbe utilizzare anche a scala regionale, consentendo di ottenere un buon risultato.

Per ciò che riguarda questo studio si può affermare che il metodo più preciso fra i tre risulta essere il metodo SINTACS, sia perché più completo, in quanto prende in considerazione un numero maggiore di parametri di input rispetto agli altri due metodi, sia perché risulta il metodo più versatile. Inoltre nella metodica si tiene conto della presenza di zone o attività potenzialmente inquinanti nell'applicazione delle stringhe.

E' anche vero che l'applicazione di tale metodo è molto più complessa di quelli precedenti e che pertanto sia per la mole di dati da elaborare che per la complessità delle analisi da effettuare, sia per le caratteristiche prestazionali dell'elaboratore e del software, è impensabile che tale metodo possa essere utilizzato a scala regionale o nazionale con estrema facilità.

In ogni caso è probabile che se i dati di input avessero avuto la stessa accuratezza per tutti i metodi, i risultati ottenuti sia con il metodo COP che con il metodo EPIK sarebbero stati altrettanto validi. Tutto ciò premesso, si può dire che la scelta del metodo più opportuno per la valutazione della vulnerabilità deve essere fatta sulla base della precisione dei dati che si hanno a disposizione e dal dettaglio richiesto nel lavoro finale.

Conclusioni

La ricerca ha consentito di confrontare i metodi e di individuare i pro e i contro di ogni metodica e le caratteristiche dello studio a cui ognuno di essi potrebbe essere adatto. Le cartografie finali ottenute non sono risultate totalmente sovrapponibili in quanto frutto di elaborazioni di dati di base

a volte troppo poco dettagliati e superficiali o a scala troppo grande, nonostante ciò si è riusciti ad ottenere risultati apprezzabili, in particolare con la metodologia SINTACS.

Il metodo SINTACS, è risultato il più completo, in quanto prende in considerazione un numero maggiore di parametri di input rispetto agli altri due metodi, sia perché il grado di discrezionalità nell'assegnare i punteggi rispetto al metodo EPIK, è più basso e ciò consente un più basso margine di errore, sia perché risulta il metodo più versatile. Nella metodica SINTACS, inoltre, diversamente dagli altri due metodi si tiene conto della presenza di zone o attività potenzialmente inquinanti per l'applicazione delle stringhe.

E' anche vero che l'applicazione di tale metodo è molto più complessa rispetto alle altre due metodologie e che pertanto sia per la mole di dati da elaborare che per la complessità delle analisi da effettuare, sia per le caratteristiche prestazionali dell'elaboratore e del software, è impensabile che tale metodo possa essere utilizzato a scala regionale o nazionale con facilità.

In ogni caso è probabile che se i dati di input avessero avuto la stessa accuratezza per tutti i metodi, i risultati ottenuti sia con il metodo COP che con il metodo EPIK sarebbero potuti ritenersi altrettanto validi. Tutto ciò premesso, si può dire che la scelta del metodo più opportuno per la valutazione della vulnerabilità deve essere fatta sulla base della precisione dei dati che si hanno a disposizione e dal dettaglio richiesto nel lavoro finale.

Dalla ricerca è emerso il fatto che l'acquifero carbonatico del Sulcis Iglesiente è intrinsecamente e in maniera elevata, suscettibile all'inquinamento (dato supportato da altri studi scientifici sull'area). Questo è un dato allarmante se si pensa alla risorsa sia economica che ambientale che viene celata all'interno di queste rocce.

Infatti a fronte di circa 27 milioni annui di m³ di ricarica attiva dell'acquifero (ricostruzione dati IGEA), ne vengono emunti appena 6 milioni di m³ all'anno per la rete idrica potabile (dati ABBANOIA, ente gestore acque). Ciò significa che la risorsa acqua potrebbe essere sfruttata maggiormente e in maniera ecosostenibile. Perché ciò avvenga, è necessario che essa venga preservata da un danno ambientale che avrebbe pesanti ricadute socio economiche, in un territorio già pesantemente segnato dall'eredità dell'industria estrattiva. A tal fine la valutazione effettuata in questo studio vuole costituire il primo passo di un importante contributo alla ricerca verso la salvaguardia di un'importante risorsa del territorio. Con l'acquisizione di dati di base più precisi sarebbe possibile certamente, effettuare un lavoro di dettaglio ed intervenire con le bonifiche in zone mirate, risparmiando tempo e risorse economiche ed avendo la certezza che gli interventi scongiurino il verificarsi di danni ambientali di vaste proporzioni.

Bibliografia

Abbanoa spa (2000 – 2007), *Report interni*.

Barrocu G. (1995). *Le acque sotterranee in Sardegna e gestione integrata delle risorse idriche*. Memorie della Associazione Mineraria Sarda, Iglesias.

Bellè O.; Cherchi F. (1994). *Studio sul bacino idrogeologico di Monteponi. Valutazioni sulla quantità e qualità delle acque sotterranee*. Miniere Iglesiente S.p.A.-Campo Pisano.

Bellè O.; Cherchi F.; Salvadori I. (1995). *Il bacino idrogeologico di Monteponi*. Aggiornamento al 1995.

Bellè O.; Cherchi F. (1995). *Il Problema dell'acqua nel bacino metallifero dell'Iglesiente. Nuovi studi e previsioni sulla ricostruzione della falda dopo la cessazione dell'attività mineraria (fermata dell'eduzione dal livello -200)*. Memorie della Associazione Mineraria Sarda, Iglesias.

Binetti A. (1935). *Sul movimento delle acque sotterranee nelle miniere dell'iglesiente*. Resoconti della Associazione Mineraria Sarda, Iglesias.

Carmignani L.; Coccozza T.; Pertusati P. (1983). *Carta Geologica del Paleozoico dell'Iglesiente* (Sardegna Sud-Occidentale. Scala 1:50000. Litografia Artistica Cartografica.

Civita M. (1980). *Interazioni tra idrogeologia e sviluppo minerario, con particolare riguardo per le situazioni coinvolgenti rocce fessurate*. Bollettino dell'Associazione Mineraria Subalpina, (2).

- Civita M. (1985). *Studio di dettaglio della situazione idrogeologica della struttura di Nebida-Masua-Acqueresi con particolare riguardo per il problema della protezione e dell'approvvigionamento idrico delle strutture minerarie locali*. progress report, C.E.E., S.A.M.IM. S.p.a.
- Civita M., De Maio M. (2000). *Valutazione e cartografia automatica della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento con il sistema parametrico SINTACS R5* (Pitagora Editrice).
- Cocco B.; Coghe S.; Lai S.; Putzolu S. (1995). *Studio per il futuro utilizzo della risorsa idrica sotterranea del bacino metallifero Iglesiente*. Memorie della Associazione Mineraria Sarda, Iglesias.
- Cocozza T. (1967). *I rapporti cambro-ordoviciani nella zona di Acqueresi*. Resoconti della Associazione Mineraria Sarda, Iglesias.
- Costantin Gogu R., Dassargues A. (2000), "Sensitivity analysis for the EPIK method of vulnerability assessment in a small karst aquifer, southern Belgium", *Hydrogeology Journal*, 8:337-345, Springer-Verlag.
- Doerfliger N., Jeannin P.Y., Zwahlen F., (1999), "Water vulnerability assessment in karst environments: a new method of defining protection areas using a multi-attribute approach and GIS tools (EPIK method)", *Environmental Geology* 39 (2), 165-176, Springer-Verlag.
- Ente Autonomo del Flumendosa, (1993), SISS, *Studio dell'Idrologia Superficiale della Sardegna - dati termo-pluviometrici, 1924-1992*.
- IGEA S.p.a. (2004). Idrogeologia bacino Monteponi. Tratto da *Piano di Caratterizzazione Valle Rio S.Giorgio*.
- Miniere Iglesiente S.p.a., Servizio Idrogeologico (1997). Il bacino idrogeologico di Monteponi, Studi e valutazioni sulla potenzialità delle risorse idriche sotterranee. *Relazione tecnica, Ente Minerario Sardo*.
- Muzzu M. (2002), Applicazione del metodo EPIK al massiccio carbonatico di Urzulei, Oliena, Orgosolo, *Tesi di Laurea inedita*, Dipartimento di ingegneria del territorio, Università degli Studi di Cagliari
- Pintore M. (2006). Acque di miniera dell'iglesiente: storia, analisi e proposte. Tesi di Laurea inedita, Dipartimento di ingegneria del territorio, Università degli Studi di Cagliari.
- Uras, G., Pintore M. (2009), "Acque di miniera dell'Iglesiente: storia, analisi e caratterizzazione", *EHEGeology*.2009-12.0-17.0259, 29-39.
- Vias J.M., Andreo B., Perles M.J., Carrasco F., Vadillo I., Jimenez P., (2006). Proposed method for groundwater vulnerability mapping in carbonate (karstic) aquifers: the COP method, Application in two pilot sites in Southern Spain. *Hydrogeology Journal* (2006) 14: 912–925.

Un GIS per il Centro Storico di Napoli: Analisi, Restauro e Manutenzione dell'Insula di San Giovanni a Carbonara

Prof. Salvatore Sessa (*), Arch. Barbara Cardone (*),
Arch. Maria Barone (**), Ing. Emanuela Colangelo (**), Arch. Patrizia Serrapica (**)

(*) Università degli Studi di Napoli Federico II, Dipartimento di Costruzioni e Metodi Matematici in Architettura
Via Toledo 402, 80134 Napoli, email: sessa@unina.it, b.cardone@unina.it, Tel. 0812538907, Fax 0812538909

(**) Università degli Studi di Napoli Federico II, Facoltà di Architettura, Scuola di Specializzazione in Beni
Architettonici e del Paesaggio, Via Monteoliveto 3, 80134 Napoli
email: colangeloemanuela@gmail.com, arch.mariabarone@yahoo.it, patserrapica@libero.it

Abstract

In continuità con il piano di manutenzione da poco presentato all'UNESCO dal Comune di Napoli, il nostro progetto si propone di presentare un metodo di raccolta dati utile sia come supporto preliminare allo studio dell'area, sia come strumento all'interno del quale individuare le diverse linee guida di intervento in fase progettuale e in fase di manutenzione.

Il centro storico della città "Parthenope" rappresenta uno dei più interessanti esempi di stratificazione urbana, e allo stesso tempo uno dei più complessi. Inoltre la ricchezza di patrimonio artistico, architettonico, archeologico nonché paesaggistico, rende fondamentale un sistema di archiviazione e di gestione dati dinamico, che garantisca la possibilità di visualizzare contemporaneamente i diversi livelli informativi senza escludere la possibilità di analizzare separatamente le informazioni attinenti a un unico livello di interesse.

Lo studio si concentra sull'Insula che si sviluppa tra i due importanti complessi conventuali di San Giovanni a Carbonara e Santa Caterina a Formiello: con l'utilizzo del GIS si è proceduto ad una raccolta delle cartografie storiche la cui sovrapposizione digitale consente una visualizzazione immediata dell'evoluzione dell'area. In seguito, con l'inserimento dello stato attuale in formato DWG, si è passato allo studio delle emergenze architettoniche ed urbanistiche che caratterizzano l'area; localizzati i punti di interesse della zona e raccolta tutta la loro documentazione storica, architettonica, fotografica, si è avuto un quadro di insieme molto più nitido che ha reso possibile affrontare il passaggio successivo, ovvero individuare le linee di intervento a livello urbano e a livello architettonico. Riportando anche queste all'interno del sistema GIS, si è creato uno strumento che potrà fungere da modello di base per seguire l'andamento degli interventi, ed opportunamente aggiornato, rappresentare la base per eventuali interventi successivi.

Si ritiene che tale modus operandi, per ora riguardante solo una piccola parte del vasto centro storico di Napoli, se applicato su tutta l'area possa essere vincente sia dal punto di vista tecnico che culturale.

1. Premessa

L'applicazione della tecnologia GIS nell'ambito dell'archeologia ha avuto inizio nel 1996, nell'ambito del progetto Poggio Imperiale a Poggibonsi (SI), diretto da Riccardo Francovich e Marco Valenti del Dipartimento di Archeologia e Storia delle Arti dell'Università di Siena.

Fino ad allora si era sempre privilegiata la gestione del dato alfanumerico (gli archivi), considerando come accessoria la parte grafica (il rilievo di scavo) che trova posto essenzialmente in programmi CAD. La digitalizzazione dei dati in forme grafiche non prevedeva la creazione di una

pianta composita, bensì di piante di fase o di periodo; che raccoglievano non tutti i dati ma solo quelli selezionati e già interpretati.

Con la sperimentazione di Valenti abbiamo la totale apertura alla “soluzione GIS” da allora impiegata nella gestione della documentazione di scavo: l'utilizzo di tale supporto è andato affermandosi negli anni in maniera sempre più forte, fino a diventare oggi uno strumento di lavoro fondamentale nell'archeologia.

La sua capacità di formare una banca dati integrata e facilmente consultabile, svincolata da qualsiasi processo interpretativo preliminare, ha rappresentato nel mondo della archeologia una concreta risposta ad uno dei problemi più ricorrenti e pressanti nell'ambito delle applicazioni informatiche in tale disciplina: la difficoltà di relazionare ed integrare il dato alfanumerico con quello grafico (inteso sia in formato vettoriale sia *raster*).

Meno diffuso è ancora oggi, tuttavia, l'utilizzo del sistema GIS nell'ambito del Restauro Architettonico, dove permane ancora un certo scetticismo da parte dei maestri di quest'arte all'integrazione con altre discipline ed in particolar modo con quelle informatiche.

Pochi sono stati fino ad oggi, in Italia, le applicazioni del sistema GIS nell'ambito di progetti di restauro edile e/o urbano. Ma, riprendendo la teoria archeologica secondo la quale l'attività dell'uomo nell'antichità lascia traccia di sé sull'ambiente in maniera stratigrafica, così avviene tutt'ora ed il nostro modo di studiare il passato antico non dovrebbe essere poi tanto diverso dal modo di approcciare un passato non ancora così tanto passato, ancora non seppellito, visibile ma spesso mutato nel suo originale aspetto e portatore, in queste sue mutazioni, di tutta una storia che non ci è lecito trascurare, non ci è lecito rimuovere o modificare senza averne prima riportato traccia in maniera indelebile e oggettiva.

In questa direzione si muove il nostro studio, che prendendo spunto dall'applicazione del GIS in archeologia, si propone di analizzare con un metodo “stratigrafico” l'evoluzione architettonico – urbanistica di una particolare area del Centro Storico di Napoli e da questa analisi partire per proporre concreti indirizzi di progetto per il restauro e la valorizzazione della stessa.

La città di Napoli è caratterizzata da un patrimonio architettonico e storico-artistico straordinario sia in termini qualitativi che quantitativi: poche città al mondo vantano una così vasta quantità e varietà di beni architettonici, artistici e paesaggistici.

Tale abbondanza, se da un lato rappresenta la grande ricchezza di Napoli, dall'altro lato ne fa una città difficile da trasformare e da tutelare, e allo stesso tempo non adeguata a rispondere alle esigenze di una grande metropoli.

Il tracciato stesso del centro storico della città, conservato quasi integralmente, rappresenta nella sua unicità uno dei principali monumenti di Napoli: la maglia regolare di decumani e cardini è ancora chiaramente leggibile così come le *insule* da essa formate. Tale maglia, storicamente così importante, vincola in modo significativo lo sviluppo urbano così come la grande quantità di chiese e di monasteri, i resti dei tracciati murari, le architetture di rilievo e le tante più o meno piccole tracce che la così intensa vita passata di questa capitale ha lasciato.

Molti sono stati i tentativi di proporre strategie di intervento, piani regolatori, progetti più o meno utopici che per i più svariati motivi non sono mai diventati esecutivi.

Il nostro studio non vuole essere l'ennesima proposta di risoluzione del problema quanto più una proposta di analisi, di documentazione e raccolta “ragionata” di dati che sia di supporto a tutte le successive fasi di progettazione.

2. Oggetto di intervento

Risultando estremamente dispersivo occuparsi dell'intero centro storico di Napoli si è preferito selezionare una ambito di studio più circoscritto, al fine di poter raggiungere un livello di approfondimento maggiore.

L'area selezionata non è una delle zone più conosciute e caratteristiche di Napoli, ma di proposito si è scelta un area, che come la maggior parte delle zone di questa città presenta singoli episodi di

“bell’architettura”, ben nascosti e camuffati da architettura “minore” ed anche per questo meno conosciuti.

L’oggetto di analisi è l’*insula* racchiusa tra Via Foria, Via Cesare Rossarol, P.za Enrico De Nicola e Via Carbonara: tale *insula* rappresenta un’area di cerniera tra l’antico centro Storico di Napoli e le espansioni orientali settecentesche. L’area, esterna alla prima cinta muraria della città, ed utilizzata come località di scarico dei rifiuti, che le acque meteoriche provenienti dalle colline antistanti scaricavano a mare. L’*insula* fu inglobata al centro urbano solo in epoca aragonese, a seguito della costruzione della nuova cinta muraria, realizzata alla fine del XV secolo.



Figura 1 – Aerofotogrammetria dell’area oggetto di intervento.

L’area è caratterizzata dalla presenza di alcuni edifici e complessi architettonici di alto valore storico-architettonico: l’*insula* è stretta a Nord dalla presenza del complesso di San Giovanni a Carbonara, fondato nel 1343 e compiuto nel 1418 ad opera di Re Ladislao, chiesa simbolo per gli ultimi Angioini; a sud chiude l’area la Chiesa di Santa Caterina a Formiello con annesso convento, portata a termine nel 1593, importante per il rilievo monumentale che assume rispetto il paesaggio urbano: posta a ridosso di Porta Capuana segna con magnificenza il principale ingresso alla città murata.

Oltre a questi due importanti complessi religiosi si trovano anche altri episodi di architettura di rilievo e tra questi il Palazzo Caracciolo di Oppido, attuale scuola Bovio e il palazzo sito in Salita Pontenuovo attuale sede dell’Archivio Storico Municipale. Attorno a questi esempi di architettura di livello medio - alto nel corso del tempo si è andata sviluppando una fitta maglia di edifici di architettura “minore” di tipo popolare - residenziale.

Il ruolo periferico rispetto al centro antico ma con caratteristiche non convenzionali a quella che può ritenersi la parte contemporanea della città, la zona non ha mai suscitato particolare interesse diventando “preda” della fascia meno ambiente della popolazione. Tale “classe sociale” ha lasciato una traccia indelebile su questa zona attraverso la realizzazione di oscure sopraelevazioni, la suddivisione degli alti interpiani dei palazzi settecenteschi con il conseguente stravolgimento del

ritmo architettonico delle cortine edilizie, il riadattamento dei piani terra a caratteristici unità residenziali.

3. Documentazione dei dati

L'area è stata oggetto di diversi studi da parte di diversi Urbanisti e Restauratori, tra questi di particolare interesse per i nostri studi sono state le analisi condotte dall'ICOMOS sul centro storico di Napoli diretto dall'Ing. Roberto Di Stefano, quale per esempio "*Il regno del possibile*". In questo studio l'architettura urbana viene studiata su diversi livelli: dal punto di vista delle condizioni statiche, di affollamento, di uso dei locali, di valore monumentale degli edifici, delle attrezzature esistenti e infine delle ipotesi di intervento.

I vari studi effettuati sulla zona hanno messo a punto sistemi di indagine finalizzati alla ricerca di metodi di intervento e valorizzazione dell'area. Tali studi non hanno raggiunto però un livello di indagine tale da dare una visione stratigrafica di evoluzione legata alle dinamiche formative dei singoli edifici e/o relative a contesti più ampi.

Date le caratteristiche dell'oggetto di studio, oltre alla *sequenza stratigrafica* ci siamo soffermati sulla *sequenza delle forme* intesa come analisi dell'articolazione planimetrica dell'abitato, dei tipi delle sue strutture e del loro sviluppo in elevato in relazione alla successione cronologica dei differenti usi. Si sono di conseguenza seguiti più filoni di ricerca, spesso affrontati singolarmente, utilizzando metodologie di indagine già sperimentate in studi precedenti.

Il primo filone di "ricerca" è stata una ricognizione particolareggiata di tutto l'ambito, sia delle strade principali che dei vicoletti che tagliano l'interno dell'insula. Dove possibile la ricognizione si è spinta fin dentro le corti dei palazzi, riservando talvolta spettacolari scoperte: splendide soluzioni architettoniche nascoste da anonime facciate. Il tutto è stato documentato attraverso un attenta campagna fotografica.

Nel caso di edifici di particolare pregio architettonico, si è poi approfondita la raccolta dati mediante la consultazione di monografie relative, nonché attraverso l'analisi della documentazione conservata presso gli Archivi di Stato. Tale documentazione è stata raccolta in specifiche schede di registrazione riportante le coordinate necessarie per la localizzazione dell'edificio, la sua descrizione ed osservazioni più specifiche relative alla tipologia costruttiva, alla storia dell'edificio ecc. Tutte le schede sono state sviluppate in Photoshop, archiviate in formato PDF e infine messe a sistema attraverso presentazioni in Power Point, che ne garantissero una lettura più semplice ed immediata.

MINISTERO PER I BENI CULTURALI E AMBIENTALI DIREZIONE GENERALE DELLE ANTICHITA' E DELLE ARTI		REGIONE CAMPANIA
<p>PROVINCIA E COMUNE: Napoli LUOGO: Via Domenico Cirillo OGGETTO: Giardino del complesso religioso di San Giovanni a Carbonara CRONOLOGIA: 1329 DESTINAZIONE: Verde privato USO ATTUALE: Verde privato</p> <p>TIPOLOGIA EDILIZIA E CARATTERI COSTRUTTIVI: PIANTA: quadrata PAVIMENTI: Verde e terra battuta ALLESTIMENTI: specie vegetali</p>	   <p>DESCRIZIONE: Nel 1329 Gualtiero Galeota donò ai frati di S. Agostino alcune case e un giardino che si estendeva ai margini della città e questi vi costruirono nel 1339 una chiesa dedicata a S. Giovanni. Verso i primi anni del XV secolo re Ladislao di Durazzo fece costruire un grande convento.</p>	
<p>PROVINCIA E COMUNE: Napoli LUOGO: Via Foria n° 2 OGGETTO: Ex Caserma Garibaldi CRONOLOGIA: 1329 DESTINAZIONE ORIGINALE: Reggimento Real Marina USO ATTUALE: Tribunale-Giudice di Pace</p>	   <p>DESCRIZIONE: La Caserma Garibaldi è un edificio storico di Napoli, costruito a mo' di castello fortificato poco prima del 1855. Insolito esempio d'incastellamento moderno - sia dal punto di vista architettonico che per la destinazione d'uso originaria - è frutto della ristrutturazione e dell'integrazione di diverse preesistenti strutture:</p> <ul style="list-style-type: none"> * l'ex convento degli Agostiniani di San Giovanni a Carbonara; * una parte dell'antica cinta muraria aragonese; * due torrioni rinascimentali, precedentemente appartenuti all'antica Porta Carbonara, che ora fanno bella mostra di sé ai lati della facciata. <p>Sorta poco prima dell'unità d'Italia, la caserma ha ospitato le forze armate per più di cento anni, prima di essere utilizzata dall'amministrazione della giustizia.</p>	

Figura 2 – Esempio di schede di registrazione.

I dati rilevati da tali prime fasi di indagine sono serviti come base per la successiva fase di ricostruzione stratigrafica della evoluzione dell'insula, volta a individuare lo sviluppo cronologico dell'azione dell'uomo su questa parte della città.

A tali fasi è seguita la resa grafica dei dati raccolti: si è scelto di mantenersi sulla scala urbana necessaria, per la contestualizzazione dell'insula rispetto al sistema urbano ed architettonico in cui è inserito, per entrare poi nella scala architettonica nel caso di alcuni specifici edifici.

Per la nostra base planimetrica si è utilizzata quindi la pianta di Napoli in formato dwg (scala 1:100), dettagliata poi a scala maggiore per mezzo di rilievi metrici effettuati sul campo, dove possibile, e dove invece non consentito, ci si è avvalso dell'ausilio delle piante riportate sull'Atlante dell'Architettura di Napoli di Italo Ferraro (2002), riportati in scala 1:50.

Per una migliore comprensione dell'insula e di conseguenza delle sue caratteristiche urbanistico-architettoniche si è scelto di arricchire la documentazione grafica mediante delle rappresentazione in scala di sezioni-prospetto fatte sulle strade principali che chiudono l'insula. Tale supporto grafico è stato di ausilio per l'individuazione dell'evoluzione stratigrafica degli edifici in elevato.

Il passo successivo è stato la scelta dell'elaborazione del nostro modello, ovvero del metodo di graficizzazione e di schematizzazione di tutti i dati raccolti sulla piattaforma GIS, cercando di fare interagire diversi ma complementari livelli di analisi, quelli già prodotti dai precedenti studi e quelli da noi effettuati.

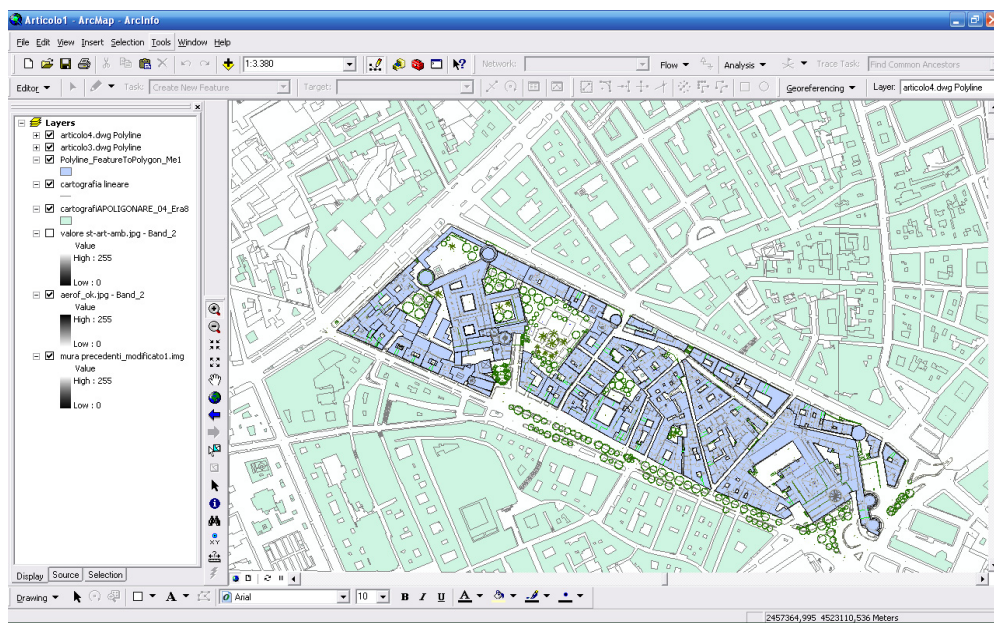


Figura 2 – Inserimento e geo-riferimento della planimetria di Napoli su piattaforma GIS.

La prima fase ha consistito nell'inserimento e nella georeferenziazione della planimetria di Napoli in DWG. La scarsa qualità del disegno DWG ha comportato un ampio lavoro di sistemazione della stessa, in particolare lungo tempo è stato dedicato al riconoscimento dei pieni e dei vuoti e la costruzione di poligoni per l'individuazione dei singoli edifici: il DWG presentava invece delle situazioni confuse in cui erano poco riconoscibili i pieni dai vuoti, fondamentali da individuare in un'architettura che, come in tutto il centro storico di Napoli, è caratterizzata da edifici a corte; inoltre le cortine edilizie non presentavano soluzione di continuità tra i diversi edifici che si presentavano come un unico blocco

Per un immediata lettura informatica dei dati, è stata elaborata una scheda collegata a tutti gli edifici che compongono l'insula, finalizzata a contenere una serie di campi capaci di indirizzare le iniziali ricerche, poi approfondibili in successivi percorsi. Prendendo spunto da studi ed analisi precedentemente condotte si sono individuate le seguenti voci della scheda:

- *classe edilizia*, al fine di operare una prima distinzione tra edilizia pubblica, privata, ecclesiastica e strutture difensive;
- *tipo edilizia*, è opportuno per precisare nel caso di una struttura ecclesiastica se si tratta di una chiesa, una pieve, un oratorio, un'area cimiteriale, un chiostro, etc. oppure se ad una struttura privata corrisponde una casa a pilastri, una torre, una casa-torre, un palazzo, una casa, così come nel caso di una struttura pubblica si specificherà se si parla di un palazzo comunale, di una fonte, di un ospedale, di un ponte, etc. Nel caso invece di strutture difensive verrà distinto se l'oggetto di studio è ad esempio una cinta muraria, una delle sue porte o una torre;
- *destinazione d'uso*, per individuare la destinazione d'uso prevalente degli edifici all'interno dell'insula;
- *leggibilità struttura*, con le tre opzioni non 'leggibile/parziale/totale', serve per indicare quando una struttura muraria è completamente coperta dall'intonaco, da altri edifici poggiati o visibile in parte, dando così la possibilità di calcolare in percentuale quanto può essere registrabile in un centro storico;
- *conservazione struttura*, è direttamente legato alla leggibilità e serve ad indicare, nel caso in cui una struttura sia analizzabile totalmente o in alcune parti, quante di queste si siano preservate ad esempio da interventi successivi o da pesanti restauri;
- *riferimenti*, da indicazioni sulla localizzazione nel tessuto abitativo gli edifici (quindi denominazione della via, numero civico o aree nel caso in cui si tratti di un nucleo abitato abbandonato in corso di scavo o meno);
- *tipo di documentazione grafica*, è invece una voce che ci informa su quale registro documentario ci siamo mossi (indicazione della scala di planimetrie e prospetti, presenza di un eidotipo o prese fotografiche, rilievo apertura o campionatura tecnica);
- *condizioni statiche*, per dare indicazione sullo stato di conservazione della struttura;
- *condizioni di affollamento*;
- *valore monumentale degli edifici*;
- *periodizzazione*, da indicazioni sulla sequenza cronologica che interessa la nostra emergenza.

Una volta stabilita, in base a fonti datanti dirette o meno, una cronologia di base per tutto il centro storico che può essere più o meno dettagliata si definisce, per gli edifici di cui si hanno dati sufficienti, la sequenza periodica che ci permetterà di visualizzare la lunga durata di quell'edificio. La precisa datazione di alcune delle sue parti (aperture, impianto originario, etc.) la ritroveremo poi nelle singole schede riguardanti la struttura, schede che abbiamo poco sopra elencato.

Come precedentemente accennato il centro storico di Napoli è caratterizzato e definito dalla sinergia che si crea tra spazio costruito e non costruito: si è ritenuta dunque indispensabile la registrazione del non edificato, degli spazi aperti interni al tessuto edilizio ed in particolare della viabilità. A tale proposito, nella fase iniziale di registrazione informatizzata dei dati sono state digitalizzate a parte tutte le vie e gli spazi aperti riconoscibili nell'insula.

Tutti i dati raccolti nelle diverse schede sono stati riportati inoltre sul modello GIS attraverso una visualizzazione grafica effettuata su differenti livelli informativi che accesi o spenti possano dare una visualizzazione attiva delle diverse problematiche. Tale visualizzazione "dinamica" delle informazioni consente di poter leggere distintamente le emergenze e studiare separatamente i diversi problemi o invece analizzarli in maniera contemporanea per ogni singolo edificio.

4. L'analisi storica

L'area oggetto del nostro intervento, come accennato nei paragrafi precedenti, ha un ruolo nevralgico nella storia dell'ampliamento della città.

L'area, esterna alla cinta muraria antica, venne scelta per la realizzazione del Palazzo Caracciolo di Santo Buono, piccolo castelletto eretto da Carlo II, e della chiesa di San Giovanni a Carbonara con l'annesso convento, la cui fondazione risale al 1343. Lo spostamento delle mura ad opera degli angioini inglobò definitivamente nel centro storico urbano quest'area che sviluppò però con una conformazione urbana inusuale, che rompeva la regolarità dei cardini e decumani.

E' del XVI secolo la fondazione della chiesa di Santa Caterina a Formiello, finita nel 1593 e posta a simbolo della città di Napoli all'ingresso principale della città.

Dal XVII secolo in poi l'area è interessata da un progressivo e continuativo sviluppo edilizio.

Per la documentazione informatica sulla piattaforma GIS di tali informazioni storiche si è scelto di procedere in primo luogo mediante la georeferenziazione delle cartografie storiche in nostro possesso: si è cercato di reperire almeno una cartografia per ciascun secolo di modo da avere una visione progressiva dello sviluppo urbano dell'insula.

Una volta geo-riferite le cartografie, sono state la base per associare il relativo secolo di appartenenza anche agli edifici di importanza minore, di cui non siamo in possesso di informazioni sufficienti per una periodizzazione più precisa.

Al fine di avere una visualizzazione interattiva di tali informazioni, si è scelto di creare *shape* diversi per ciascun secolo a cui associare i singoli edifici, così da poter scegliere quale livello informativo tenere acceso ed avere una associazione diretta delle realtà architettoniche esistenti con il secolo storico di appartenenza.

4.1 Valore storico architettonico e ambientale

Per questo tipo di analisi si è ripreso lo studio condotto dall'ICOMOS, nel quale gli edifici venivano distinti in quattro categorie a seconda che tali edifici fossero caratterizzati da:

- valore monumentale;
- valore architettonico;
- valore ambientale;
- nessun valore.

Nell'insula, lo studio suddetto considerava due soli edifici di importanza monumentale, ovvero il complesso di San Giovanni a Carbonara e quello di Santa Caterina a Formiello. Attribuiva invece un valore di tipo architettonico alle torri appartenenti alla cinta muraria aragonese, all'edificio che attualmente ospita l'archivio di stato e al palazzo Palazzo Caracciolo d'Oppido, attuale sede di una scuola elementare. A tali edifici, dopo averli distinti in appositi *shapefile*, sono state attribuite delle schede relative alle loro caratteristiche architettonico monumentale.

La maggior parte degli altri edifici sono stati considerati invece di valore ambientale, ovvero non importanti per il loro valore o architettonico o ambientale, ma più per il loro modello tipologico e considerati nel loro insieme come caratteristici di una particolare area e di un determinato periodo storico a cui può essere attribuita la loro costruzione. Infine tale identificazione evidenziava la presenza di alcuni singoli episodi di architettura minore priva di qualsiasi valore: alcuni degli edifici che lo studio degli anni '80 individuava in questa categoria sono già stati demoliti (come per esempio quelli presenti nel giardino alle spalle della chiesa di San Giovanni a Carbonara), per gli altri nella fase di intervento sarà necessario individuare specifiche scelte di progetto, per tanto risulta anche in questo caso importante renderli distinguibili dagli altri, così che facilmente riconoscibili.

Pare evidente come nella fase di intervento sarà necessario concentrare l'attenzione in maniera primaria su gli edifici di maggiore valore, senza dimenticare però che per una valorizzazione dell'intera insula sarà necessario intervenire anche su tutti quegli edifici che pur non rappresentando delle eccezionali note di prestigio, inserite nel contesto ambientale hanno la capacità di renderlo più o meno degradato a seconda della loro singola condizione.

4.2 Analisi sullo stato di conservazione

Anche in questo caso per l'analisi si è ripresa la ripartizione fatta nello studio condotto dall'ICOMOS, in cui si individuavano le condizioni statiche degli edifici distinguendo gli edifici in tre macro gruppi:

- condizioni buone,
- condizioni mediocri,
- condizioni cattive.

Dopo aver verificato che le condizioni attuali degli edifici corrispondessero con quelle descritte negli anni '80 dal Prof. Di Stefano e i suoi collaboratori, a partire dalla macro distinzione già proposta da loro si sono creati tre *shapefile* all'interno dei quali si sono inseriti gli edifici appartenenti alle diverse categorie. Per gli edifici in cattive condizioni si è anche creata una scheda con documentazione fotografica delle emergenze strutturali e una descrizione del tipo di struttura e delle danni che presenta l'edificio. Anche in questo caso la distinzione in tre *shapefile* degli edifici consente una visualizzazione dinamica dell'area, permettendo di mantenere attiva solo una categoria, due oppure tutte insieme. Tale opzione può risultare utile, per esempio, nella fase di intervento se si vorrà avere una visualizzazione immediata della priorità da dare agli interventi da dover effettuare analizzando per ciò gli edifici in condizioni peggiori.

5. Indice di affollamento

Sempre in riferimento allo studio condotto dall'ICOMOS abbiamo ritenuto poter essere interessante considerare anche un'altra delle catalogazioni da loro condotte, che una volta verificatane l'attendibilità per le condizioni attuali, può risultare molto utile per le future ipotesi di intervento. Si tratta dell'analisi condotta sull'indice di affollamento degli edifici a seconda del numero di abitanti per stanza. Lo studio individuava 5 categorie:

- da 0 a 0,80 ab./st.,
- da 0,80 a 1,00 ab./st.,
- da 1,00 a 1,20 ab./st.,
- da 1,20 a 1,50 ab./st.,
- più di 1,50 ab./st.

Anche in questo caso si sono attribuiti *shapefile* differenti agli edifici a seconda della categoria di appartenenza.

6. Destinazione d'uso

Seguendo l'esempio degli studi precitati abbiamo effettuato una catalogazione degli edifici anche secondo la loro attuale destinazione d'uso: questo da un lato per capire le attività prevalenti e di conseguenza le necessità prevalenti della zona, fondamentali per individuare le linee di intervento per la valorizzazione dell'insula. Tale indicazioni ci danno anche informazioni sui diversi interlocutori (pubblici o privati) con cui si dovrà interagire in fase di intervento.

Si è distinto gli edifici secondo la seguente schematizzazione:

- edifici d'uso religioso,
- edifici d'uso pubblico,
- edifici ad esclusivo uso residenziale,
- edifici di prevalente uso residenziale (con funzioni commerciali al piano terra).

Nel caso dell'ultima categoria si è dettagliata l'informazione inserendo attraverso il GIS dei punti in corrispondenza delle diverse attività commerciali presenti ai piani terra che se cliccati danno indicazioni specifiche delle diverse attività. Tale dettaglio risulta importante per capire sia il tipo e la quantità di servizi presenti e quelli invece carenti e allo stesso tempo da indicazioni di eventuali vocazioni prevalenti dell'area. E' noto infatti come a Napoli sia diffuso il legame tra specifiche attività in specifiche aree: per esempio c'è la zona dei presepi, la zona degli orefici, ecc. Risulta dunque interessante, per poi orientare in modo intelligente le linee di intervento, stabilire se anche in quest'area c'è o ci sia stata una vocazione prevalente, stabilire quale essa sia e capire se possa essere elemento caratterizzante della zona. Anche in questo caso si è cercato di disporre e sintetizzare i dati sulla piattaforma GIS in modo tale che si potesse facilmente scegliere le informazioni da visualizzare e si potesse leggere in maniera selettiva i dati necessari.

7. Conclusioni

Come precedentemente detto, un buon progetto non può prescindere da una buona lettura dell'oggetto di intervento. Per buona lettura si intende una visione dell'oggetto sia nella sua integrità sia nei suoi dettagli, una capacità di sintesi ma allo stesso tempo una visione di insieme che prescinda una selezione soggettiva delle informazioni da ricercare. Una lettura che tenga conto di tutto quello che l'ambiente, l'architettura e le persone che vi abitano e vi lavorano hanno da dire.

A tale scopo la piattaforma GIS rappresenta un valido strumento di supporto, in grado di riportare una grande quantità di dati così come emersi nella fase di ricerca, permettendone però una visione selettiva e dinamica. Questo consente da un lato di poter avere un'archiviazione di tutti i dati raccolti durante la fase di indagine, senza dover effettuare a monte una selezione di quanto trasmettere e quanto no. D'altro lato durante la fase di intervento si ha la possibilità di selezionare le informazioni da cui partire per indirizzare il progetto e allo stesso tempo avere sempre sintetizzate e schematizzate tutte i dati raccolti e quindi un costante strumento di verifica per controllare costantemente la compatibilità del progetto prescelto con la storia e lo stato dei luoghi.

Riprendendo la teoria stratigrafica, se l'architettura come l'archeologia si sviluppa per strati successivi derivanti dall'azione dell'uomo su un determinato territorio, allora anche l'intervento che noi andremo a progettare oggi non sarà altro che un ulteriore strato che si aggiungerà a quelli che di cui il passato ha già lasciato traccia. La capacità della piattaforma creata è proprio questa: di riuscire ad individuare i diversi strati, a portarne traccia per il presente e per il futuro. All'interno di questa digitalizzazione delle informazioni il nostro intervento rappresenterà un altro strato da andare ad inserire nella storia di questo luogo. Questo progetto apre diverse porte: la prima è la porta che conduce all'intervento sull'area in oggetto. Dall'analisi condotte sono emerse tutti i punti di forza e di debolezza che caratterizzano la zona; ora non resta altro da fare che trovare il sistema per valorizzare i primi e inibire i secondi. Il lavoro così realizzato in GIS sarà la base di partenza per tutto il progetto; la seconda porta conduce ad un lavoro ancora più ampio e lungimirante: la possibilità di riproporre tale *modus operandi* all'intero centro storico di Napoli, raccogliendo tutti i dati e le informazioni in nostro possesso in un unico dinamico strumento che garantisca la trasmissione di questo immenso sapere e la possibilità di una visione non più frammentaria del singolo edificio o della singola area, ma una visione di insieme fortemente integrata ed interattiva.

Bibliografia

- AA.VV., *Studi Centro Storico: Il regno del possibile*, Atti del Convegno di Napoli (12/12/1986), Edizioni del Sole 24 ore, Milano, 1987.
- F. Di Martino, S. Sessa, *Le funzionalità ArcMap, ArcCatalog e ArcToolbox del tool ESRI/ArcGIS*, Aracne Editrice, Roma, Vol. 343, 2011, pp. 385. ISBN: 9788854837638.
- F. Di Martino, S. Sessa, B. Cardone, *Le funzionalità del TOOL ESRI/ARCVIEW*, Aracne Editrice, Roma, Vol. 343, 2011, pp.136. ISBN:9788854841307.
- I. Ferraro, *Napoli, Atlante della Città Storica: Centro Antico*, CLEAN Edizioni, Napoli, 2002, pp. 640. ISBN: 8884970822.
- M. Migani, G. Salerno, *Manuale ArcGIS: Guida pratica all'utilizzo della release 9.x con esercizi svolti*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2009, pp. 276. ISBN: 9788877587992.
- A. Minghetti, P. Africani, E. Ferrari, L. Lorenzini, E. Paselli, *Classificazione e conservazione del patrimonio edilizio: integrazione e consultazione di banche dati tramite tecnologie GIS*, Atti 12^a Conferenza Nazionale ASITA, L'Aquila, 2008, pp. 1485-1490.
- T. Ormsby, E. Napoleon, R. Burke, C. Groessl, L. Bowden, *Getting to know ArcGIS Desktop*, ESRI Press, 2nd Edition, Redlands (CA), 2010, pp. 604. ISBN: 9781589482609.
- S. Sessa (a cura di), *GIS DAY 2009: Il GIS per la gestione e il governo del territorio*, Aracne Editrice, Roma, Vol. 285, 2010, pp. 267. ISBN: 9788854833328.
- M. Zeiler, *Modeling your world: the ESRI guide to geodatabase concepts*, ESRI Press, Redlands (CA), 2010, pp. 308. ISBN: 9781589482784.
- <http://www.cartadelrischio.it>

Un metodo innovativo per mappare le aree bruciate nell'Europa Mediterranea basato su indici spettrali e tecniche di *soft computing*

Daniela Stroppiana (*), Gloria Bordogna (**), Mirco Boschetti (***), Paola Carrara (****), Luigi Boschetti (*****), Pietro Alessandro Brivio (*****)

(*) IREA-CNR, Via Bassini 15, 20133 Milano, Italy, Tel. +39 02 23699454, Fax +39 02 23699300

Email: stroppiana.d@irea.cnr.it

(**) IDPA-CNR, Via Pasubio 5, 24044 Dalmine (BG), Italy, Tel. +39 035 6224262, Fax +39 035 6224260

Email: gloria.bordogna@idpa.cnr.it

(***) IREA-CNR, Via Bassini 15, 20133 Milano, Italy, Tel. +39 02 23699297, Fax +39 02 23699300

Email: boschetti.m@irea.cnr.it

(****) IREA-CNR, Via Bassini 15, 20133 Milano, Italy, Tel. +39 02 23699295, Fax +39 02 23699300

Email: carrara.p@irea.cnr.it

(*****) Department of Geography, Univ. of Maryland, College Park, MD, USA 20740

Tel. +1 301 4059845, Fax +1 301 4056806, Email: luigi@hermes.geog.umd.edu

(*****) IREA-CNR, Via Bassini 15, 20133 Milano, Italy, Tel. +39 02 23699289, Fax +39 02 23699300

Email: brivio.pa@irea.cnr.it

Riassunto

La perimetrazione delle aree percorse da incendi nei sistemi naturali è fondamentale per la stima del loro impatto sia sugli ecosistemi che sull'atmosfera. Le immagini acquisite dai sistemi satellitari permettono il monitoraggio e la mappatura a scala regionale delle aree percorse da incendio; in particolare, le immagini acquisite dal sensore Landsat TM/ETM+ ed ora rese disponibili gratuitamente da US Geological Survey Earth Resource Observation and Science Center sono adatte alle caratteristiche delle aree bruciate in ambiente Mediterraneo. In questo lavoro proponiamo un metodo innovativo per la mappatura delle aree bruciate da immagini Landsat TM/ETM+ basato sull'integrazione di indici spettrali con tecniche di *soft computing* per l'applicazione di un algoritmo di *region growing*. Il metodo offre il vantaggio di integrare un numero variabile di indici che vengono interpretati tramite funzioni di *membership* definite con lo scopo di ridurre gli indici allo stesso dominio $[0,1]$ e di enfatizzare il segnale delle aree bruciate (evidenza positiva) o non bruciate (evidenza negativa). L'evidenza negativa viene utilizzata per revisionare l'evidenza positiva derivata dall'integrazione degli score degli indici per ridurre gli errori di commissione (falsi positivi). Il metodo è stato valutato su un'area test di una scena TM acquisita in Croazia (path/row 189/029) e la validazione ha prodotto misure di accuratezza soddisfacenti (accuratezza globale=96%, omissione=10%, commissione=16%).

Abstract

Mapping burned area perimeters is of key importance for assessing the impact of fires on the ecosystems and the atmosphere. Satellite images allow monitoring and mapping burned areas over large areas; in particular, the images acquired by the Landsat TM/ETM+ sensor and now made available through the web by the US Geological Survey Earth Resource Observation and Science Center are suitable for mapping burns in the Mediterranean eco system. In this article we propose a new approach for mapping burned areas from Landsat TM/ETM+ images based on the integration of spectral indices using soft computing techniques in the framework of a region growing algorithm. The approach offers the advantage of being able to integrate a variable number of indices which are interpreted by membership functions; the use of membership functions has the objective

of rescaling the indices to the same domain $[0,1]$ while enhancing at the same time the spectral signal of burned areas (positive evidence of burn) or unburned areas (negative evidence). The negative evidence of burn is used for revising the integrated positive evidence brought by all indices for reducing the commission errors (false alarms). The performance of the proposed approach has been assessed over a test area extracted from a TM scene acquired over Croatia (path/row 189/029) and validation carried out by comparison with photo-interpreted perimeters provided the accuracy figures: overall accuracy=96%, omission=10% and commission=16%.

Introduzione

La perimetrazione delle aree percorse da incendi nei sistemi naturali è fondamentale per la stima del loro impatto sia sugli ecosistemi che sull'atmosfera, per la prevenzione di eventi futuri e per il monitoraggio della ricrescita della vegetazione. Nelle foreste dell'Europa meridionale gli incendi costituiscono la minaccia più significativa non soltanto per i sistemi naturali ma anche per la sicurezza della popolazione e delle infrastrutture (Laneve et al., 2006). Nonostante questo la maggior parte dei paesi delle Europa meridionale non ha un sistema di monitoraggio delle aree percorse dal fuoco a scala regionale e/o nazionale. I dati acquisiti dai sistemi di osservazione della Terra, ed, in particolare, i dati del sensore Landsat TM/ETM+, si sono dimostrati di fondamentale importanza per la mappatura delle aree percorse da incendio in ambiente Mediterraneo (Chuvieco et al., 2002; Quintano et al., 2006). Numerosi sono i metodi utilizzati per estrarre i perimetri delle aree bruciate dalle immagini multi-spettrali TM/ETM+ e tra questi l'utilizzo degli Indici Spettrali (IS) è molto diffuso. Gli indici spettrali permettono la riduzione della ridondanza spettrale delle immagini TM/ETM+ tramite rapporti, più o meno complessi, di una o più bande spettrali. L'utilizzo di metodi multi-indice e multi-soglia è l'approccio più diretto per la classificazione del dato satellitare e l'identificazione delle aree bruciate (Bastarrika et al., 2011). Tuttavia non esiste un unico indice accettato come il migliore per la mappatura delle aree bruciate poiché le caratteristiche spettrali delle superfici percorse dal fuoco possono variare significativamente all'interno dello stesso ecosistema. Un'ulteriore conseguenza è il fatto che le soglie utilizzate per segmentare le immagini possono variare da sito a sito. In questo articolo proponiamo un metodo basato sull'utilizzo di indici spettrali e tecniche di *soft computing* per implementare un approccio multi-indice capace di superare questi limiti. In particolare, il metodo proposto utilizza ed integra un insieme di indici senza richiedere una scelta a priori di uno o più di essi: il metodo, inoltre, si adatta automaticamente ad un numero variabile di indici. L'utilizzo di tecniche di *soft computing* (funzioni di *membership* applicate a ciascun indice) riduce l'influenza delle soglie da applicare al dominio di ciascun indice permettendone l'utilizzo su larga scala.

L'approccio proposto

La figura 1 presenta la schema riassuntivo del metodo proposto in questo articolo. Il metodo si basa su un algoritmo di *region growing* dove i semi e i limiti per la crescita delle aree bruciate sono derivati dall'integrazione degli indici spettrali convertiti in gradi di *membership* di evidenza positiva e negativa di bruciato. Nel primo passo ciascuna scena multi-spettrale acquisita dal sensore TM/ETM+ è convertita in un set di indici spettrali (Spectral Indices) che vengono successivamente trasformati in evidenza positiva e negativa. L'evidenza positiva è data da un sottoinsieme del dominio di ogni indice che identifica le aree bruciate; dal momento che non è possibile identificare in modo univoco (senza errori di commissione) i valori spettrali delle aree percorse da incendio, il valore di evidenza positiva varia tra 0 e 1 dove i valori più alti corrispondono ad una maggiore probabilità di identificare correttamente pixel bruciati (minore confusione con aree non bruciate). In modo simmetrico, l'evidenza negativa è un sottoinsieme degli indici che identifica le aree non bruciate e varia tra 0 e 1.

Evidenza positiva e negativa vengono calcolate per ogni indice spettrale (IS_i) tramite funzioni di membership ($\mu_{IS_i}: \text{Dom}_i \rightarrow [0,1]$) definite in modo empirico a partire dagli istogrammi di frequenza di aree bruciate e non bruciate ed estratti da un training set.

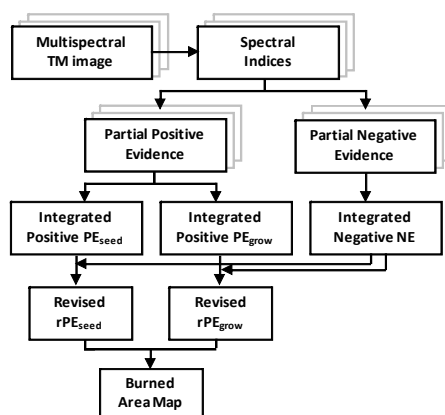


Figura 1 – Schema del metodo proposto per la mappatura delle aree bruciate da immagini TM/ETM+.

In una fase successiva, le evidenze positive vengono integrate con due diversi metodi per produrre i *layer* potenziali dei semi (PE_{seed}) e di massima espansione dei perimetri (PE_{grow}); allo stesso modo le evidenze negative sono integrate per derivare un unico *layer* (NE) che nel passo successivo verrà utilizzato per la revisione dei *layer* positivi ($rPE_{seed}=PE_{seed}-NE$; $rPE_{grow}=PE_{grow}-NE$). L'idea alla base della revisione è che i pixel fonte di confusione a cui è stata assegnata un'alta evidenza positiva avranno anche un'alta evidenza negativa che viene utilizzata per abbattere il valore di PE_{seed} e PE_{grow} . I due *layer* finali rPE_{seed} e rPE_{grow} costituiscono gli input per l'algoritmo di *region growing* codificato in linguaggio IDL. La mappa finale (*burned area map*) è caratterizzata da valori continui compresi fra 0 ed 1.

Dati sperimentali e metodi

Il dataset utilizzato per testare il metodo proposto e descritto nella sezione precedente è costituito da sei scene Landsat TM acquisite per l'Europa meridionale nel 2003 (Tabella 1).

Tabella 1 – I dati TM acquisiti per l'anno 2003 ed i pixel campionati per ciascuna classe ed utilizzati per training e testing del metodo proposto.

Path/Row	Paese	Data	Bruciato	Ombre	Acqua	Vegetazione
204/032	Portogallo	12/08	1200	1000	881	1750
202/032	Spagna	15/09	1300	1613	1000	2455
203/034	Portogallo	24/10	1000	963	1000	1500
189/029	Croazia	04/09	1200	730	900	1800
184/034	Grecia	10/03	1955	1000	1277	1681
195/030	Francia	14/09	1500	1500	1000	1300

Le immagini TM sono state corrette radiometricamente e per l'effetto atmosferico (Masek et al., 2006) per estrarre la riflettanza al suolo ρ_i nelle bande TM ($i=1,\dots,7$). In questo primo test sono stati selezionati otto indici spettrali (Tabella 2), comunemente utilizzati in letteratura per la mappatura delle aree bruciate.

Tabella 2 – Gli indici spettrali utilizzati per l'applicazione del metodo proposto.

Indice Spettrale (SI)	Formula	Referenza
NDVI	$(\rho_4 - \rho_3) / (\rho_4 + \rho_3)$	Rouse et al., 1973
NBR	$(\rho_4 - \rho_7) / (\rho_4 + \rho_7)$	Key and Benson, 1999
NBR2	$(\rho_5 - \rho_7) / (\rho_5 + \rho_7)$	Key and Benson, 1999
MIRBI	$(10\rho_7 - 9.5\rho_5 + 2)$	Trigg and Flasse, 2001
CSI	(ρ_4 / ρ_5)	Smith et al., 2005
SAVI	$(\rho_4 - \rho_3)(1+L) / (\rho_4 + \rho_3 + L)$	Huete, 1988
EVI	$G^*(\rho_4 - \rho_3) / (\rho_4 + C_1\rho_3 - C_2\rho_1)$	Huete et al., 2002
EVI2	$G^*(\rho_4 - \rho_3) / (\rho_4 + C_3\rho_3 + 1)$	Jiang et al., 2008

$$L=0.5, G=2.5, C_1=6, C_2=7.5 \text{ e } C_3=2.4.$$

Dalle scene TM acquisite per l'area di studio, sono stati estratti mediante interpretazione visuale dei *training set* in corrispondenza di superfici bruciate e non; la numerosità (numero di pixel per classe per scena) dei training set è indicata in Tabella 1. I training sono stati utilizzati per l'analisi di separabilità e per definire le funzioni di membership (μ_{Si}) per ciascuno degli otto indici IS_i .

L'analisi di separabilità è stata condotta calcolando la misura S (Eq. 1) per coppie di classi delle superfici identificate nel *training set* (vedi Tabella 1).

$$S = |\mu_{i,b} - \mu_{i,u}| / (\sigma_{i,b} + \sigma_{i,u}) \quad [1]$$

dove $\mu_{i,b}$ e $\sigma_{i,b}$ sono, rispettivamente, la media e la deviazione standard delle aree bruciate e $\mu_{i,u}$ e $\sigma_{i,u}$ sono, rispettivamente, la media e la deviazione standard delle aree non bruciate (ombre, acqua e vegetazione non bruciata).

Le funzioni di *membership* che identificano le aree bruciate (evidenza positiva) sono state definite a partire dagli istogrammi di frequenza della classe bruciato del training estratto su tutte le scene TM. Le funzioni permettono di scalare i valori del dominio di ogni indice tra 0 e 1, dove i valori minimi (massimi) sono associati ad una bassa (alta) probabilità di identificare i pixel bruciati. Per esempio, la funzione di evidenza positiva per l'indice NBR ($\mu_{NBR,b}$) è definita come segue: $\mu_{NBR,b}=1$ if $NBR < -0.325$; $\mu_{NBR,b}=0$ if $NBR > 0.620$; $\mu_{NBR,b}=0.66-1.06*NBR$ if $-0.325 < NBR \leq 0.620$. L'evidenza positiva è definita per tutti gli indici considerati a partire dall'ipotesi che ogni indice contribuisce anche se in modo parziale all'identificazione delle aree bruciate (convergenza dell'evidenza). Al contrario le funzioni di evidenza negativa sono state definite solo per NBR e MIRBI sulla base degli istogrammi derivati dal training per le classi ombra e vegetazione. La formulazione è tuttavia simile a quella proposta per l'evidenza positiva. Per esempio per NBR (evidenza di non bruciato: $\mu_{NBR,u}$): $\mu_{NBR,u}=1$ if $NBR \geq 0.605$; $\mu_{NBR,b}=0$ if $NBR < -0.290$; $\mu_{NBR,b}=0.32+1.12*NBR$ if $-0.290 < NBR \leq 0.605$.

I gradi di *membership* dell'evidenza positiva ottenuti per ogni indice sono stati integrati con due diversi operatori Ordered Weighted Averaging (OWA) (Yager, 1988; Bone et al., 2005) per estrarre PE_{seed} e PE_{grow} : un operatore restrittivo (OWA_{most90} ($most(x)=0$ for $x \leq 0.9$; $most(x)=10x-9$ for $x > 0.9$)) per derivare il *layer* dei semi a cui si richiede un'elevata accuratezza (basso errore di commissione) ed un operatore più rilassato (OWA_{most50} ($most(x)=0$ for $x \leq 0.5$; $most(x)=2x-1$ for $x > 0.5$)) per il *layer* di crescita dei semi. Il *layer* di evidenza negativa è costruito a partire dai gradi di *membership* di NBR e MIRBI con un operatore di massimo e sottratto a PE_{seed} e PE_{grow} .

Il metodo proposto è stato testato su un'area estratta dalla scena TM acquisita per la Croazia (path/row 189/029) e le misure di accuratezza sono state calcolate per confronto con i perimetri delle aree percorse da incendio estratte tramite foto-interpretazione.

Risultati

La tabella 3 riassume i risultati dell'analisi di separabilità tra aree bruciate e non per ciascun indice e classe. I valori di S mettono in evidenza come la capacità degli indici di separare spettralmente le

aree bruciate vari da indice a indice ed in funzione della superficie considerata, sebbene si possa identificare una certa superiorità degli indici NBR, NBR2 e MIRBI rispetto agli altri. Il motivo principale è che questi indici sono stati formulati specificamente per la mappatura delle aree bruciate e quindi tengono conto delle bande più sensibili ai cambiamenti spettrali indotti dal passaggio del fuoco.

Tabella 3 – Separabilità S tra aree bruciate e non.

	NBR	NBR2	NDVI	SAVI	CSI	MIRBI	EVI	EVI2
Ombre	1.47	1.08	0.79	0.19	0.56	0.24	0.16	0.17
Vegetazione	0.63	1.06	0.08	0.50	0.48	1.35	0.50	0.51
Acqua	1.11	0.08	0.64	0.91	0.60	0.20	0.89	0.90

Questi risultati mettono anche in evidenza la complementarietà degli indici rispetto alle diverse superfici che spesso inducono ad un errore di misclassificazione (confusione spettrale) tra bruciato e non. Per esempio, l'indice NDVI è caratterizzato da una bassa separabilità ($S=0.08$) tra bruciato e vegetazione mentre, per lo stesso confronto, l'indice MIRBI ha il valore massimo ($S=1.35$): in un approccio, come quello proposto in questo lavoro, dove gli indici vengono integrati, la presenza dell'indice MIRBI può sicuramente bilanciare le mancanze dell'NDVI nel separare le aree bruciate dalla vegetazione. Ricordiamo che per migliorare l'accuratezza della mappatura delle aree bruciate abbiamo considerato nelle nostre analisi solo le superfici non bruciate normalmente fonte di confusione spettrale: quindi, per vegetazione si intendono aree vegetate in condizioni di non completa copertura (vegetazione sparsa) e/o vegetazione in condizioni di senescenza.

La tabella 3 mette anche in evidenza che NBR e MIRBI siano gli indici migliori per separare le aree bruciate dalle ombre e dalla vegetazione, rispettivamente. Questo è il motivo principale per cui questi due indici sono stati selezionati per costruire il *layer* di evidenza negativa utilizzato per la revisione dell'evidenza positiva costruita a partire dal contributo di tutti gli indici.

La figura 2 mostra un esempio dei *layer* di evidenza negativa derivati da NBR e MIRBI e di tre degli otto *layer* di evidenza positiva derivati da NBR, MIRBI ed NDVI. Questi *layer* sono costituiti da valori continui compresi tra 0 ed 1 dove, nel caso di evidenza positiva, i valori più alti (toni di rosso) assegnati a ciascuno pixel dalle funzioni indice-specifiche $\mu_{i,b}$ rappresentano i pixel con più alta probabilità di essere bruciati; nel caso di evidenza negativa, invece, i valori più alti sono mappati in corrispondenza delle superfici non bruciate. Il confronto con l'immagine TM in falsi colori (RGB 543) (Figura 2a) mette in evidenza come, nel caso dell'evidenza positiva gli indici mostrati siano in accordo nell'assegnare i valori alti alle aree bruciate (convergenza dell'evidenza) mentre nel caso di evidenza negativa i valori più alti siano in corrispondenza di aree non bruciate ma di diverso tipo per NBR e MIRBI. Infatti, come evidenziato dall'analisi di separabilità MIRBI ha una capacità superiore nel discriminare le aree caratterizzate da vegetazione sparsa e/o secca (in basso a sinistra della figura).

Si può inoltre osservare che, nel caso dell'indice NDVI, vengono assegnati dei valori alti (rosso) a delle zone di ombra dovute alla topografia nell'area più montagnosa della scena (in basso a sinistra); tuttavia, questi valori saranno ridotti nella fase di integrazione dell'evidenza positiva e negativa dai valori alti di MIRBI negativo.

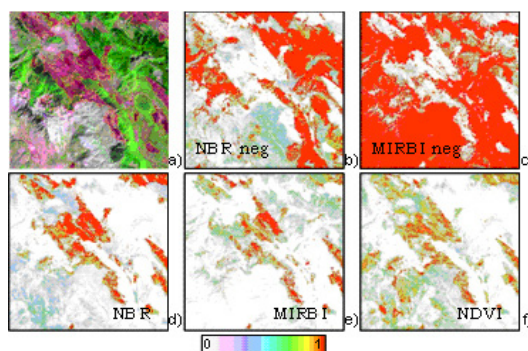


Figura 2 – a: Immagine Landsat TM in falsi colori (RGB 543) estratta dalla scena acquisita per la Croazia (path/row 189/029); grado di membership dell'evidenza negativa per NBR (b) e MIRBI (c); grado di membership dell'evidenza positiva per NBR (d), MIRBI (e) ed NDVI (f).

La figura 3 mostra la mappa delle aree bruciate (centro) e la mappa della distribuzione degli errori di commissione ed omissione rispetto ai vettori dei perimetri delle aree percorse da incendio ed individuati tramite foto-interpretazione. Il confronto con i perimetri fotointerpretati mette in evidenza l'accuratezza della mappatura: la maggior parte della superficie bruciata viene infatti classificata correttamente (aree arancioni nel pannello a destra della Figura 3) mentre vengono commessi alcuni errori di commissione (verde) ed omissione (blu). Gli errori di omissione sono principalmente dovuti ad aree non bruciate interne al poligono principale bruciato (isole).

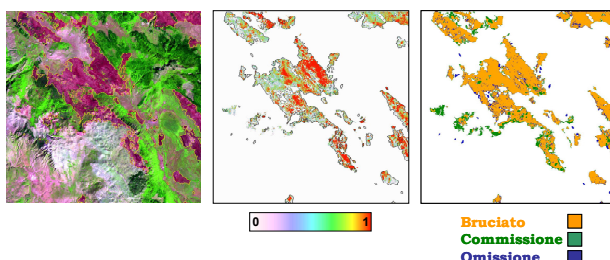


Figura 3 – Landsat TM in falsi colori (sinistra) per una area estratta dalla scena acquisita per la Croazia (path/row 189/029); mappa finale delle aree bruciate (centro) e mappa degli errori di classificazione (destra).

La validazione effettuata per l'area test mostrata nelle figure 2 e 3 ha portato le seguenti misure di accuratezza: accuratezza globale= 96%, omissione=10%, commissione=16%.

Conclusioni

In questo articolo proponiamo un metodo innovativo per la mappatura delle aree bruciate da immagini Landsat TM/ETM+ basato su un approccio multi-indice e tecniche di *soft computing*. Il metodo si basa su un algoritmo di *region growing* dove i *layer* dei semi e di crescita sono derivati dall'integrazione dell'evidenza positiva portata dai diversi indici spettrali. L'integrazione è ottenuta applicando operatori di *soft computing* OWA che permettono di implementare funzioni diverse per ciascun *layer*. Inoltre un contributo significativo ed innovativo del nostro lavoro è l'utilizzo dell'evidenza negativa (evidenza di non bruciato) per la revisione dei *layer* integrati di evidenza positiva allo scopo di ridurre gli errori di commissione (falsi positivi). La valutazione dell'accuratezza della mappa delle aree bruciate, derivata per un'area test estratta da una scena TM

acquisita per la Croazia nell'estate 2003, ha prodotto risultati soddisfacenti (accuratezza globale=96%, omissione=10% e commissione=16%).

Ringraziamenti

Il software "SDSS" utilizzato per le analisi è stato sviluppato nell'ambito del progetto di ricerca "Convenzione operativa del CNR-IDPA & Dip. di Informatica – Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bergamo ". L'attività di uno degli autori è stata finanziata nel quadro del programma Short-term Mobility (anno 2010) del Consiglio Nazionale delle Ricerche, Italia, ed ospitato da CNR-IREA, Milano.

Riferimenti bibliografici

- Bastarrika, A., Chuvieco E., Pilar Martín M. (2011), "Mapping burned areas from Landsat TM/ETM+ data with a two-phase algorithm: balancing omission and commission errors", *Remote Sensing of Environment*, 115: 1003-1012.
- C. Bone, S. Dragicevic, and A. Roberts (2005), "Integrating high resolution remote sensing, GIS and fuzzy set theory for identifying susceptibility areas of forest insect infestations", *International Journal of Remote Sensing*, 26(21): 4809-4828.
- Chuvieco E., Martín M.P., Palacios A. (2002), "Assessment of different spectral indices in the red-near-infrared spectral domain for burned land discriminations. *International Journal of Remote Sensing*, 23: 5103-5110.
- Huete A.R. (1988), "A soil-adjusted vegetation index (SAVI)", *Remote Sens. Environ.*, 25(3): 295-309.
- Huete A.R., K. Didan, T. Miura, E.P. Rodriguez, X. Gao and L.G. Ferreira (2002), "Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices", *Remote Sensing of Environment*, 83(1-2): 195-213.
- Jiang Z., A.R. Huete, K. Didan, and T. Miura (2008), "Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band", *Remote Sensing of Environment*, 112(10): 3833-3845.
- Key C.H., and N.C. Benson (1999), "Measuring and remote sensing of burn severity," In *Proc. Joint Fire Science Conference and Workshop*, L.F. Neuenschwander & K.C. Ryan (Eds.), vol. II, Moscow, ID: Univ. of Idaho and Int. Ass. of Wildland Fire, p. 284.
- Laneve, G., M.M., Castronuovo, E.G., Cadau, (2006), "Continuous monitoring of forest fires in the Mediterranean area using MSG", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44(10): 2761-2768.
- Quintano C., Fernández-Manso A., Fernández-Manso O., and Shimabukuro Y.E.(2006), "Mapping burned areas in Mediterranean countries using spectral mixture analysis from uni-temporal perspective", *International Journal of Remote Sensing*, 27: 645-662.
- Rouse J.W., R.H. Haas, J.A. Schell, and D.W. Deering (1973), "Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS", *Third ERTS Symposium*, NASA SP-351, vol. 1, pp. 309-317.
- Smith A.M.S., M.J. Wooster, N.A. Drake, F.M. Dipotso, M.J. Falkowski, A.T. Hudak (2005), "Testing the potential of multi-spectral remote sensing for retrospectively estimating fire severity in African Savannahs," *Remote Sensing of Environment*, 97(1): 92-115.
- Trigg S., and S. Flasse (2001), "An evaluation of different bi-spectral spaces for discriminating burned shrub-savanna", *International Journal of Remote Sensing*, 22(13): 2641-2647.
- Yager, R.R. (1988), "On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decisionmaking", *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, 18(1): 183-190.

Un applicativo ERSI *Python* per la valutazione della ricarica degli acquiferi

Enrico Suozzi

Politecnico di Torino, Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino
0110907698, enrico.suozzi@polito.it

Long abstract

Con il passare degli anni la risorsa idrica ha acquistato un'importanza sempre maggiore, pertanto va salvaguardata e protetta. È destinata a rivestire un'importanza sempre più rilevante nei rapporti tra gli Stati, con il rischio di dare origine a violenti conflitti.

Negli ultimi decenni si lavora intensamente per la corretta salvaguardia e quantificazione della risorsa idrica disponibile. In questa ottica, la ricarica degli acquiferi rappresenta il punto di partenza di una corretta definizione delle risorse disponibili e nella delimitazione delle aree di salvaguardia.

Il metodo implementato con un ERSI *Python script* è quello del bilancio idrogeologico inverso (Civita, 1973; Civita & De Maio, 2001) che consente di giungere alla stima del tasso di infiltrazione in un'area, idrogeologicamente ben identificata. Tale stima si attua tenendo conto di una serie di parametri, normalmente disponibili, di natura climatica, come la piovosità e la temperatura; di natura topografica, come la quota altimetrica e l'inclinazione dei versanti, e di natura idrogeologica, come le caratteristiche di permeabilità del suolo e delle rocce affioranti.

L'approccio metodologico, una volta stabilita l'area di studio e le relazioni generali valide per tutta l'area di interesse, prevede che tutta l'area sia discretizzata in celle quadrate (EFQ) di lato da definirsi in base all'estensione dell'area in esame ed alla quantità dei dati disponibili. Per la determinazione delle grandezze necessarie alla valutazione del bilancio idrogeologico inverso, si procede secondo lo schema descritto in seguito:

- 1 posizionamento georeferenziato delle stazioni pluviometriche e termometriche esistenti nell'ambito del territorio in esame ed in quelli immediatamente limitrofi;
- 2 selezione, ricostruzione ed omogeneizzazione delle serie storiche dei dati per periodi isocroni sufficientemente lunghi cioè (10÷20 anni) tale da includere variazioni pluriennali delle precipitazioni e della temperatura;
- 3 calcolo delle medie mensili ed annue dei dati pluviometrici e termometrici rilevati per ciascuna stazione;
- 4 calcolo delle temperature medie annue corrette (T_c) in funzione della piovosità;
- 5 definizione delle equazioni piovosità/quota $P = f(q)$ e temperatura corretta/quota $T_c = f(q)$;
- 6 calcolo della quota media (q) di ciascun EFQ;
- 7 calcolo della piovosità specifica (P), in base ai punti 5 e 6;
- 8 calcolo della evapotraspirazione potenziale specifica (E_r), in base ai punti 4, 5 e 6;
- 9 calcolo della piovosità efficace specifica (Q) in base ai punti 7 e 8;
- 10 identificazione del coefficiente d'infiltrazione potenziale (χ), in base alla litologia superficiale (se affiorante o sotto scarsa copertura di suolo) o alle caratteristiche tessiturali del suolo (se questo è potente), all'acclività della superficie topografica, all'indice di

fratturazione (IF), all'indice di carsismo (IC) e ad altri parametri correttivi che dipendono dalla soggiacenza, dall'uso del suolo, dalla tipologia e densità della rete drenante superficiale, ecc;

- 11 calcolo della infiltrazione (I) e del ruscellamento (R) potenziale, in base ai punti 9 e 10;
- 12 calcolo per sommatoria della ricarica e del ruscellamento competente all'intera area d'interesse, interpretazione e cartografia tematica delle diverse componenti del bilancio.

Per permettere l'applicazione di questa metodologia è stato necessario sviluppare uno *script* in linguaggio *Python*, in modo da poter guidare l'utente nei passi precedentemente illustrati. La scelta di utilizzare questo linguaggio di programmazione è la completa interfacciabilità con il mondo ESRI-ArcGIS, il quale è stato adottato come piattaforma di sviluppo, utilizzando la sua, sempre, più completa libreria di applicazioni disponibili. Inoltre, si è deciso di utilizzarlo poiché ArcGIS è il SIT più utilizzato in tutti gli ambiti, per cui questo *script* nasce al fine di poter meglio gestire le risorse idriche sotterranee. Permette, quindi, di giungere facilmente alla definizione del quantitativo d'acqua che si infiltra o che ruscella.

Il *software* risulta molto semplice, leggero e veloce, consentendo anche all'utente meno esperto di poter quantificare la risorsa disponibile nell'area in studio.

Lo *script* richiede dei dati di *input* per avviare il calcolo. L'utente deve dunque procurarsi delle serie storiche, riguardanti la meteorologia, che coprano un arco di tempo abbastanza lungo (10-20 anni). Inoltre sono necessarie due cartografie (in formato *shapefile* o *raster*), il DTM (*Digital Terrain Model*) e la Carta geologica o meglio idrogeologica dell'area in studio. Utilizzando i dati relativi alla precipitazione e alla temperatura delle stazioni termopluviometriche si è in grado di riprodurre le rette di correlazione precipitazione/quota e temperatura corretta/quota per l'area in esame.

In seguito si procederà attraverso una serie di domande, in cui l'utente può effettuare delle scelte, alla costruzione di tutta la cartografia richiesta dal modello.

La verifica dei risultati così ottenuti può essere eseguita, in genere, confrontando la stima della ricarica attiva così ricavata (*input*), con dati noti o serie di misure, eventualmente disponibili, (*output*).

La velocità e la precisione del *software* sono stati validati con numerosi lavori eseguiti da quando è stata introdotta la metodologia del bilancio idrogeologico inverso portando agli stessi risultati raggiunti eseguendo la procedura manualmente. Inoltre, la possibilità di rilanciare la procedura ogni qualvolta venga modificato uno dei parametri di *input* permette di ricreare e di aggiornare le Carte in maniera speditiva.

In conclusione questo *software* permette di applicare il metodo del bilancio idrogeologico inverso in un paio di minuti, procedura che eseguita manualmente richiederebbe giornate di lavoro.

Miglioramento della risoluzione spaziale di immagini TIR MODIS su aree costiere

Sergio Teggi, Francesca Despini, Matteo Serafini

Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Civile, Università di Modena e Reggio Emilia

Riassunto

Il telerilevamento satellitare ed aereo riveste un ruolo fondamentale nella mappatura termica dei corpi idrici poiché consente il monitoraggio di ampie aree quasi in tempo reale. Le bande utilizzate sono quelle dell'infrarosso termico (TIR) e il valore misurato è quello della temperatura pellicolare dell'acqua, ossia dei primi 100 μm di spessore. In questo ambito il principale fattore limite dei dati telerilevati è la risoluzione spaziale. I sensori aviotrasportati acquisiscono immagini ad elevata risoluzione spaziale ma il loro impiego è limitato dai costi e dall'organizzazione richiesta dalle campagne aeree. Le immagini satellitari sono utilizzate frequentemente per la stima della temperatura superficiale dei corpi idrici, ma alcuni elementi territoriali quali canali, laghi di piccole dimensioni e aree costiere spesso non possono essere analizzati a causa della loro ridotta risoluzione spaziale. Il sensore satellitare MODIS dispone di 16 bande nell'infrarosso termico ad una risoluzione spaziale di 1 km. Le immagini MODIS sono distribuite gratuitamente e sono disponibili più volte al giorno in qualsiasi area. Queste caratteristiche rendono il MODIS uno strumento molto utile per il monitoraggio di ampie superfici idriche, ma la risoluzione spaziale non è adeguata per l'analisi delle aree costiere. In questo lavoro è presentato il miglioramento spaziale di immagini TIR MODIS in zone costiere ottenuto tramite l'applicazione dell'algoritmo SWTI (Sharpening Water Thermal Imagery). L'algoritmo è stato applicato a due immagini MODIS acquisite sulla laguna di Venezia e sul delta del fiume Po. La risoluzione spaziale delle immagini è stata migliorata da 1 km a 250 m utilizzando le informazioni delle bande del visibile e vicino infrarosso (VNIR) del sensore stesso. Le performance dell'algoritmo sono state valutate utilizzando come riferimento una coppia di immagini ASTER acquisite simultaneamente a quelle MODIS e sulla medesima area. L'analisi si è basata principalmente sul confronto tra i valori di temperatura ricavati dalle immagini ASTER e quelli calcolati dall'algoritmo SWTI. L'errore quadratico medio determinato escludendo i valori anomali (meno del 5% dei casi) è inferiore a 1.5 K e può essere considerato soddisfacente considerando le accuratezze in temperatura dei sensori ASTER e MODIS. Inoltre, per confermare la validità del miglioramento spaziale prodotto dall'algoritmo, le immagini ASTER di riferimento sono state confrontate anche con le mappe termiche delle aree costiere ottenute tramite una semplice interpolazione bilineare delle immagini MODIS originali.

Improvement of the spatial resolution of MODIS coastal waters thermal mapping – Abstract

Thermal mapping of water bodies is a highly relevant tool for the study of thermal pollution, an issue to which increasing attention is paid. Remote sensing is a useful tool for monitoring large surface in near real time, but the main limiting factor is the spatial resolution. In this work it is shown the spatial improvement of MODIS thermal imagery on coastal water obtained with the SWTI (Sharpening Water Thermal Imagery) algorithm that allows to increase spatial resolution from 1 km to 250 m. SWTI is applied to two MODIS images, acquired on the lagoon of Venice and the delta of the Po river. As a reference we use a couple of ASTER images acquired simultaneously to the MODIS images and on the same areas. The root mean square errors computed excluding outliers are lower than 1.5 K that can be considered satisfactory when compared with the ASTER and MODIS temperature accuracies.

1 Introduzione

Aumenti localizzati di temperatura in corpi idrici superficiali, come laghi, fiumi e mari, possono avere importanti effetti negativi sull'ecosistema del corpo idrico stesso. L'inquinamento termico delle acque ha infatti un doppio effetto, essendo in grado di influenzare la vita in un corpo idrico sia direttamente, variandone la temperatura, sia indirettamente andando ad influire su una serie di parametri, tra cui densità dell'acqua, salinità, grado di ossigenazione, che a loro volta si ripercuotono sull'ecosistema esistente [Kay, 2005].

Il telerilevamento satellitare o da aereo rappresenta uno strumento molto valido per la mappatura termica delle acque costiere (mari, laghi) e fluviali. Numerosi sensori acquisiscono infatti informazioni nelle bande dell'infrarosso termico permettendo di ricavare la temperatura della superficie. I sensori satellitari ad oggi operanti sono il MODIS, con 16 bande nel TIR con risoluzione spaziale di 1 km, AVHRR, con 2 bande nel TIR a 1 km, ATSR, con 3 bande nel TIR a 1 km e ASTER, con 5 bande nel TIR a 90m.

Il fattore limitante principale di questi sensori è la risoluzione spaziale, che non permette l'analisi di zone costiere o di corpi fluviali di dimensioni ridotte [Ritchie, 2003].

Il sensore MODIS dispone di 16 bande nell'infrarosso termico alla risoluzione spaziale di 1 km. Le immagini sono disponibili gratuitamente sul sito della NASA, e quindi rappresentano un interessante possibilità di monitoraggio delle mappature termiche su larga scala.

Nel presente lavoro è stato testato un algoritmo per il miglioramento della risoluzione spaziale denominato SWTI [Teggi, in press], che consente il passaggio da una risoluzione di 1 km a 250 m. L'algoritmo utilizza come input informazioni sullo stato di copertura del terreno ricavate dalle bande MODIS nel visibile-vicino infrarosso. Le immagini elaborate sono state acquisite nella zona della laguna di Venezia e del delta del fiume Po.

Come riferimento sono state elaborate le medesime immagini MODIS con una semplice interpolazione bilineare (BINT) per il passaggio da 1 km a 250 m.

Una coppia di immagini ASTER acquisite simultaneamente sulla medesima area delle immagini MODIS, sono state invece utilizzate come confronto.

2 Metodologia

2.1 Data set

In Figura 1 si riporta la prima area di studio: la laguna di Venezia. L'immagine è stata acquisita contemporaneamente dal sensore ASTER e MODIS il 5 settembre 2007. L'area di studio ha un'estensione di circa 3989.8 km² corrispondenti a 492563 pixel alla risoluzione spaziale di 90m. Questa area include la totalità della laguna di Venezia e racchiude zone umide, isole (compresa quella urbanizzata di Venezia) e il polo industriale di Porto Marghera, caratterizzato da larghi canali.

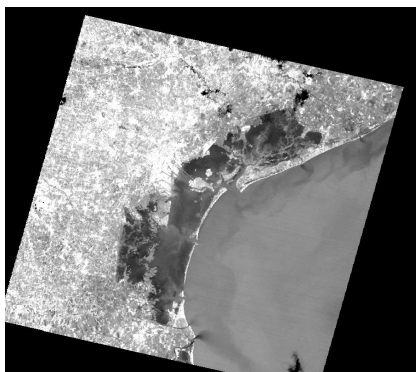


Figura 1 – Area di studio della laguna di Venezia.

In Figura 2 si riporta invece la seconda area di studio: il delta del fiume Po. L'immagine è stata acquisita contemporaneamente dal sensore ASTER e MODIS il 22 agosto 2008. L'area di studio presenta un'estensione di circa 4004.9 km² corrispondenti a 494432 pixel alla risoluzione spaziale di 90m. L'immagine comprende una larga estensione del Delta che si estende indicativamente nella parte orientale delle provincie di Ferrara e Rovigo; questa area è caratterizzata dalla presenza di lunghi tratti di costa, con molte lagune e insenature, spesso paludose, e diramazioni di vari corsi d'acqua con larghezza molto variabile.

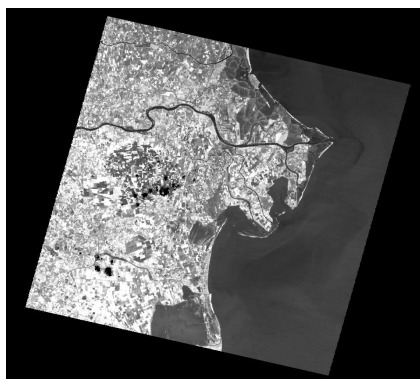


Figura 2 – Area di studio del delta del fiume Po.

2.3 L'algoritmo SWTI

L'immagine è stata inizialmente elaborata tramite un algoritmo per il miglioramento della risoluzione spaziale. Questo algoritmo è stato sviluppato partendo dall'algoritmo TsHARP proposto da Agam et al.[2007], ed applicabile ai suoli. L'algoritmo da noi sviluppato invece vuole migliorare la risoluzione spaziale nelle bande dell'infrarosso termico dei pixel costieri (mixed pixel).

Per questo miglioramento vengono sfruttate informazioni sul tipo di copertura della superficie e sullo stato della vegetazione estratte dalle prime due bande nel visibile – vicino infrarosso del sensore MODIS con risoluzione spaziale di 250 m. Un pixel TIR viene definito *costiero* se i sotto-pixel con dimensione di 250 m che lo compongono sono in parte su acqua e in parte su terra ferma. L'algoritmo è basato principalmente su due ipotesi:

- Hp1: vi è di un buon grado di correlazione fra la radianza emessa nel TIR dai pixel dell'immagine con un set di variabili ricavabili dalle immagini MODIS acquisite alla risoluzione spaziale di 250 m.
- Hp2: la correlazione ipotizzata in Hp1 è invariante rispetto a piccoli cambiamenti di scala, come ad esempio per il rapporto 4:1 (1000 m : 250 m).

Questo algoritmo è ancora in fase sperimentale e la fase più critica, sulla quale si sta maggiormente concentrando l'attività di sviluppo è quella della verifica dei risultati. La spiegazione dettagliata dell'algoritmo, che include anche la validazione dei risultati, esula dagli scopi di questo lavoro e può essere reperita nel lavoro di Teggi [In Press].

2.3 Risultati e considerazioni

In Figura 3 ed in figura 4 si riportano le mappature termiche ottenute con l'applicazione dell'algoritmo SWTI o della semplice interpolazione bilineare alle immagini originali. Il miglioramento è evidente già ad occhio nudo, ma sono stati valutati alcuni parametri statistici per quantificare l'efficacia dell'algoritmo. Per quest'ultima operazione ci si è serviti delle immagini ASTER di riferimento.

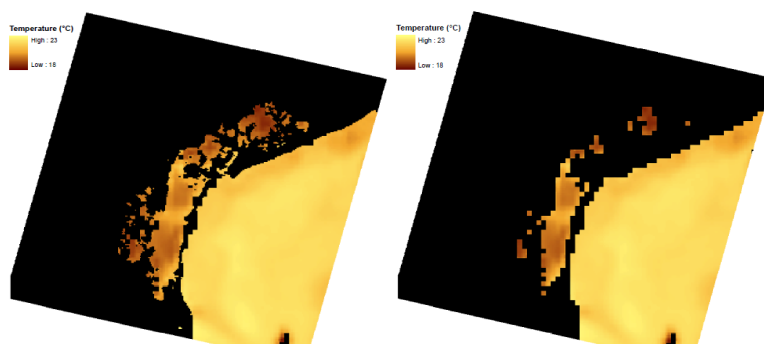


Figura 3 – A sinistra la mappatura termica sulla laguna di Venezia nell'immagine SWTI a destra nella BINT.

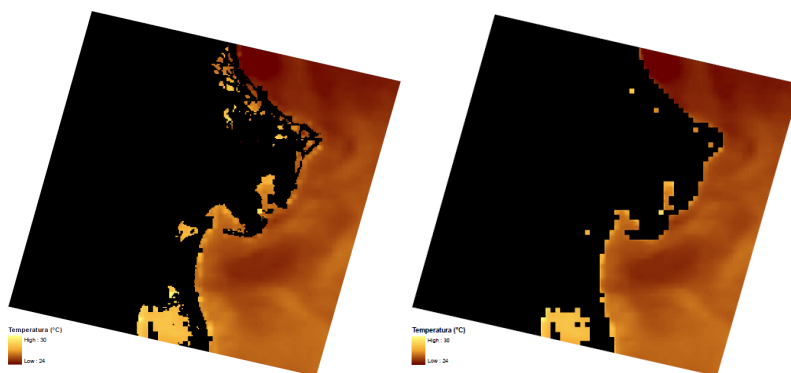


Figura 4 – A sinistra la mappatura termica sul delta del fiume Po nell'immagine SWTI a destra nella BINT.

Innanzitutto è stato necessario ricercare l'errore sistematico di temperatura che persiste tra le immagini MODIS e le immagini ASTER dovuto per esempio alla calibrazione degli strumenti e alle pre-elaborazioni effettuate sulle immagini. Questo errore è stato valutato su pixel puri di acqua ed i risultati sono riportati in tabella 1.

	<i>BIAS</i> (°C)	ST DEV (°C)	<i>S.E.</i> (°C)	<i>AD</i> _{0,95} (°C)	<i>r</i> (/)
Area 1: Laguna di Venezia	0,30	0.25	0,39	0,67	0,95
Area 2: Delta del Po	-0,24	0.22	0,32	0,57	0,96

Tabella 1 – Errore sistematico calcolato come la differenza in temperatura tra le immagini MODIS e le immagini ASTER.

Le valutazioni statistiche sono state poi effettuate su due particolari gruppi di pixel denominati k1 e k2. Alla categoria k1 appartengono tutti quei sub-pixel d'acqua pura ottenuti grazie all'applicazione dell'algoritmo sui pixel costieri che alla risoluzione di 1 km erano misti. Alla categoria k2 appartengono invece quei pixel influenzati dalla possibile presenza nel loro intorno di punti il cui valore è stato calcolato dall'algoritmo (k1).

Sono stati calcolati vari parametri statistici, tra i quali il bias tra l'immagine elaborata e l'immagine di riferimento, la deviazione standard, lo standard error, la differenza assoluta al 95-esimo percentile e il coefficiente di correlazione di Pearson.

I risultati sono riportati nelle tabelle 2 e 3.

Area 1 : Laguna di Venezia					
	<i>BIAS</i> (°C)	<i>ST DEV</i> (°C)	<i>S.E.</i> (°C)	<i>AD_{0,95}</i> (°C)	<i>r</i> (/)
Pixel k1					
MODIS SWTI-ASTER	0,49	0.71	1,05	1,91	0,76
Pixel k2					
MODIS SWTI-ASTER	0,33	0.48	0,76	1,45	0,91
MODIS BINT-ASTER	0,46	0.52	0,87	1,62	0,89

Tabella2 – Parametri statistici calcolati per la laguna di Venezia.

Area 2: delta del Po					
	<i>BIAS</i> (°C)	<i>ST DEV</i> (°C)	<i>S.E.</i> (°C)	<i>AD_{0,95}</i> (°C)	<i>r</i> (/)
Pixel k1					
MODIS SWTI-ASTER	-0,08	0.67	1,98	3,41	0,76
Pixel k2					
MODIS SWTI-ASTER	- 0.16	0.35	0,37	0,72	0,92
MODIS BINT-ASTER	0,19	0.39	0,67	1,35	0,92

Tabella 3 – Parametri statistici calcolati per il delta del fiume Po.

Come si può vedere dalle tabelle l'algoritmo risulta efficace, l'errore commesso resta al di sotto di 1 K in ogni caso, e se si considera l'errore sistematico si abbassa ulteriormente. L'errore è quindi inferiore alla precisione dello strumento, sia per quanto riguarda i pixel appartenenti alla categoria k1, sia per quelli di categoria k2.

Per questi ultimi si noti anche il miglioramento portato dall'applicazione dell'algoritmo SWTI rispetto ad una semplice interpolazione bilineare.

3 Conclusioni e sviluppi futuri

L'efficacia dell'algoritmo SWTI è stata testata su due immagini MODIS avendo a disposizione immagini ASTER di riferimento. È stata in questo caso provata con parametri statistici l'efficacia dell'algoritmo.

Sicuramente questo procedimento è da migliorare e sono necessari ulteriori scenari di applicazione dell'algoritmo per verificarne l'efficacia anche in ulteriori casi di studio.

Anche la metodologia di validazione è necessariamente da migliorare:

- Servirebbero dati di validazione a terra;
- Il contributo dell'errore pre-esistente deve essere diviso dall'errore indotto dall'algoritmo.

In un futuro si potrebbe inoltre pensare all'estensione dell'algoritmo ai punti di terraferma

4 Bibliografia

- N. Agam, W. P. Kustas, M.C. Anderson, F. Li and C.M.U. Neale. *A vegetation index based technique for spatial sharpening of thermal imagery*. Remote Sensing of Environment, 107(4):545-558, 2007.
- K. A. Cherkauer, S. J. Burges, R. N. Handcock, J. E. Kay, S. K. Kampf, and A. R. Gillespie. *Assessing satellite-based and aircraft-based thermal infrared remote sensing for monitoring pacific northwest river temperature*. Journal of the American Water Resources Association, 41(5):1149-1159, 2005.
- J. E. Kay, S. K. Kampf, R. N. Handcock, K. A. Cherkauer, A. R. Gillespie, and S. J. Burges. *Accuracy of lake and stream temperatures estimated from thermal infrared images*. Journal of the American Water Resources Association, 41(5):1161-1175, 2005.
- J. C. Ritchie, P. V. Zimba, and J. H. Everitt. *Remote sensing techniques to assess water quality*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 69(6):695-704, 2003.
- S. Teggi. *Temperature of coastal waters and of watercourses from ASTER images*. Italian Journal of Remote Sensing, In Press.
- C. Wu, Q. Wang, Z. Yang, and W. Wang. *Monitoring heated water pollution of the dayawan nuclear power plant using tm images*. International Journal of Remote Sensing, 28(5): 885-890, 2007.

Ramses: un progetto per la salvaguardia e la tutela di Venezia

Rudj Maria Todaro

Insula spa, Santa Croce 505, 30123 Venezia
Tel. 0412724218, Fax 0412724102, rudj.todaro@insula.it

Abstract



Figura 1 – Nuvole di punti di Piazza S.Marco.

RAMSES (Rilievo altimetrico, modellazione spaziale e scansione3D), promosso dal Comune di Venezia e attuato da Insula spa, è il progetto che realizza per la prima volta al mondo una rappresentazione tridimensionale al centimetro della pavimentazione di una città: il centro storico di Venezia è stato rilevato restituendo la planimetria e l'altimetria di calli, campielli e fondamenta con una precisione mai realizzata prima.

Ramses, è il primo progetto nel suo genere per l'integrazione delle metodologie impiegate – quelle tradizionali della topografia e il sistema satellitare Gps – e per l'estensione e la capillarità del rilievo su scala urbana, con oltre 20 mila scansioni laser su uno sviluppo lineare di un milione di metriquadri. Partendo dalle esigenze che hanno portato la città a dotarsi di questo strumento, vengono presentati i passaggi fondamentali che hanno portato a compimento l'opera.

RAMSES (Rilievo Altimetrico, Modellazione Spaziale E Scansione3D – Altimetric Survey, Spatial Modeling and 3D scan), sponsored by the City of Venice and implemented by Insula SpA, is the project that for the first time ever creates a three-dimensional representation of the city paving to the centimeter: the historic city centre of Venice was surveyed, representing the plan and elevations of streets, squares and embankments with unprecedented accuracy. Ramses, is the first project of its kind in terms of the integration of methodologies - traditional topography and the GPS satellite system with laser scanner - and the extent and thoroughness of the survey on the urban scale, with over 20,000 laser scans on a linear span of one million square meters.

Starting with the needs that prompted the city to adopt this tool, it presents the fundamental phases in the process to complete this very important work.

1. Le esigenze

Conoscere l'andamento plano-altimetrico della pavimentazione diventa indispensabile in occasione delle alte maree, sia per garantire la transitabilità pedonale, sia per prevedere i danni derivanti dagli allagamenti.

Il modello delle pavimentazioni utilizzato a Venezia fino al 2010 si basava su una banca dati continuamente aggiornata grazie ai rilievi eseguiti per elaborare progetti integrati di manutenzione della città. Si trattava però di un insieme di informazioni composite ed eterogenee per densità, precisione e affidabilità, che consentivano di predisporre un modello altimetrico della città discretizzato mediamente solo a 10 cm.



Figura 2 – Acqua alta a Venezia.

Trascorso ormai quasi un ventennio dall'ultima campagna di rilievo completa della città di Venezia, il modello presentava spesso imprecisioni ascrivibili alla scarsa densità dei dati di origine e risultava poco significativo per l'ampio intervallo di discretizzazione. Sulla base di tale banca dati non avrebbe, tuttavia, avuto significato discretizzare il modello ad intervalli di quota minori di 10 cm. L'utilizzo di tale riferimento per prevedere le conseguenze dell'acqua alta a Venezia comportava spesso errori nella valutazione della transitabilità pedonale in funzione del livello di marea, della lunghezza dei percorsi dove è necessario predisporre le passerelle (es1, es2) e della quota di esondazione delle soglie private. Allo stesso tempo, non avrebbe avuto significato alcuno discretizzare il modello a intervalli di quota minori di 10 cm sulla base di tale banca dati.

Dalla constatazione della necessità di usufruire del supporto di uno strumento maggiormente dettagliato è nato Ramses, un rilievo topografico caratterizzato da omogeneità nella precisione (altimetrica di 1 cm e planimetrica di 2 cm) e nelle modalità di esecuzione, nonché da una maglia molto più fitta (2500 punti al metro al mq), da cui è possibile generare un modello tridimensionale a curve di livello più preciso, discretizzato a 1 cm.

In questo modo si possono ridurre considerevolmente gli errori di valutazione della transitabilità delle pavimentazioni, della stima dei percorsi delle passerelle e della quota di esondazione delle soglie degli edifici, in funzione del livello di marea.

1.1. confronto fra modelli a precisione diversa

Prima di Ramses esistevano solo alcuni rilievi localizzati delle pavimentazioni che presentavano le caratteristiche di precisione e di distribuzione spaziale richieste per poter generare un modello tridimensionale discretizzato a 2 cm in quota.

L'esempio relativo all'isola di San Lorenzo (superficie di 7.300 mq) esemplifica chiaramente la differenza di risultato tra i vecchi e i nuovi dati: si sono generati due modelli, entrambi discretizzati a 2 cm, a partire dalle due banche dati disponibili e se ne sono confrontati i risultati.

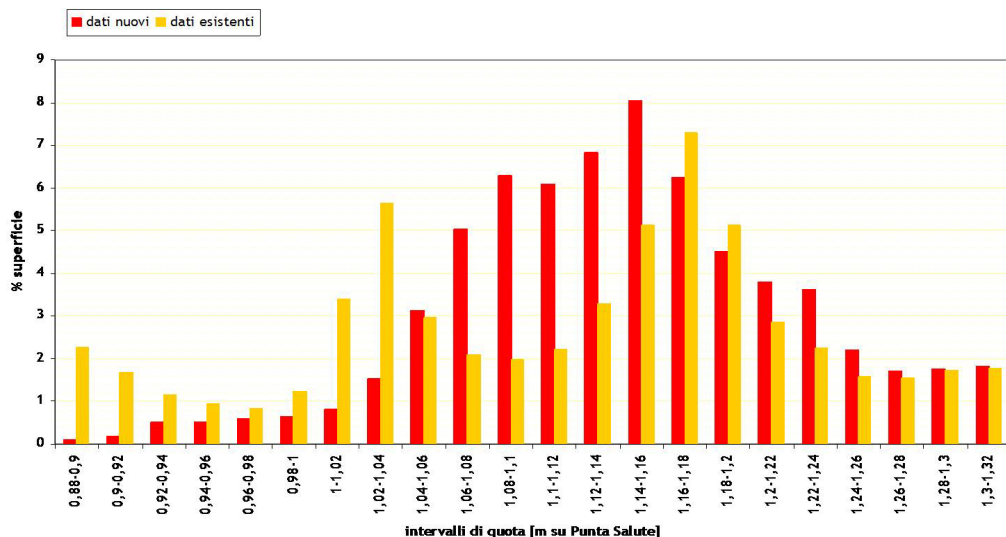


Figura 3 – Analisi altimetri dell'isola S.Lorenzo – stima della superficie per intervalli di quota.

Nel grafico di figura 3 si evidenziano differenze nella valutazione delle superfici esondate in funzione dell'intervallo di quota. La superficie con quota compresa tra 1,02 m e 1,04 m, ad esempio, è valutata intorno al 5,6% sul modello generato a partire dai dati esistenti e intorno all'1,5% sul nuovo modello.

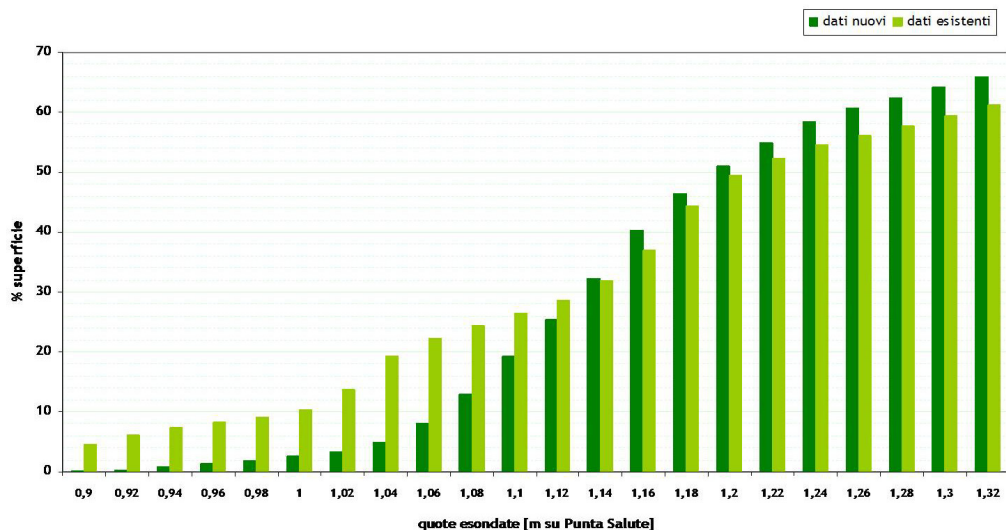


Figura 4 – Analisi altimetri dell'isola S.Lorenzo – superficie esondata per intervallo di marea.

Più significative le considerazioni da fare sul grafico di figura 4 che rappresenta, per la stessa zona, la percentuale di superficie esondata in funzione di livelli di marea, valutati sui due modelli discretizzati entrambi a 2 cm. Dall'osservazione del grafico si vede come il modello ottenuto dai dati esistenti sovrastimi di oltre il 10% la pavimentazione esondata per livelli di marea inferiori a 1,14 m e di come, invece, la sottostimi per livelli di marea più alti.

1.2. confronto fra modelli a discretizzazione diversa

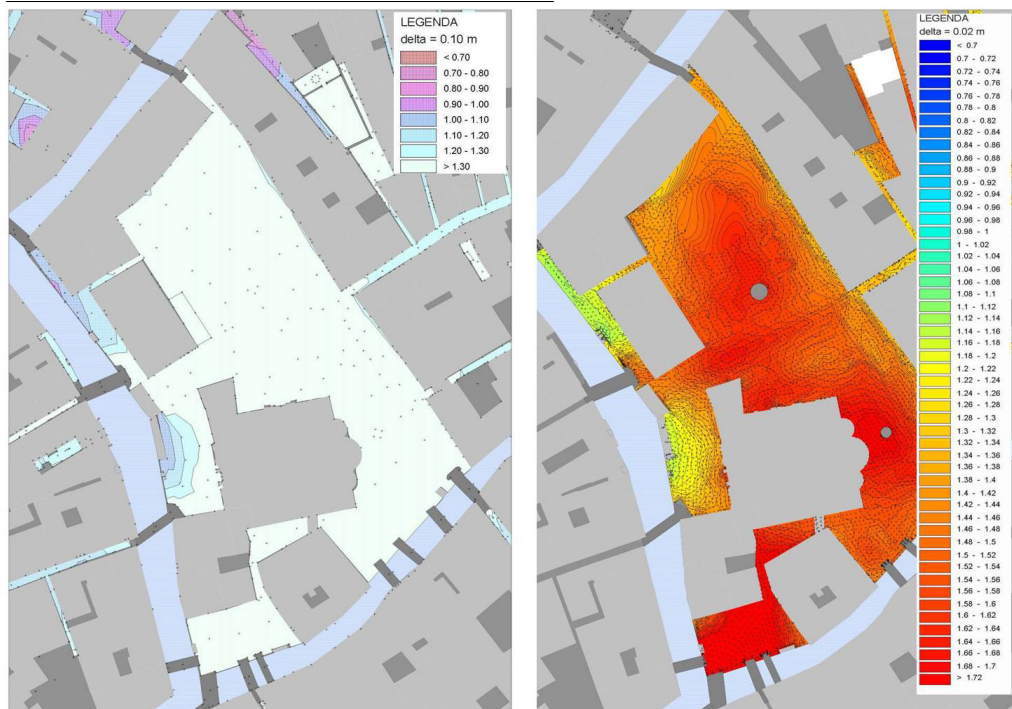


Figura 5 – Linee di esondazione delta 0.10m vs delta 0.02m.

Vengono qui messi a confronto due modelli a discretizzazione diversa. A sinistra (discretizzazione a 10 cm) si vede come la maglia del rilievo sia molto più larga rispetto al caso riportato sulla destra (discretizzazione a 2 cm) che consente una modellazione più particolareggiata dell'altimetria delle pavimentazioni.

Come si può notare dagli esempi riportati in figura 5, il modello tridimensionale discretizzato a 2 cm consente una valutazione molto più precisa dell'andamento altimetrico della pavimentazione rispetto al modello a 10 cm.

1.3. errori nell'interdizione del passaggio pedonale

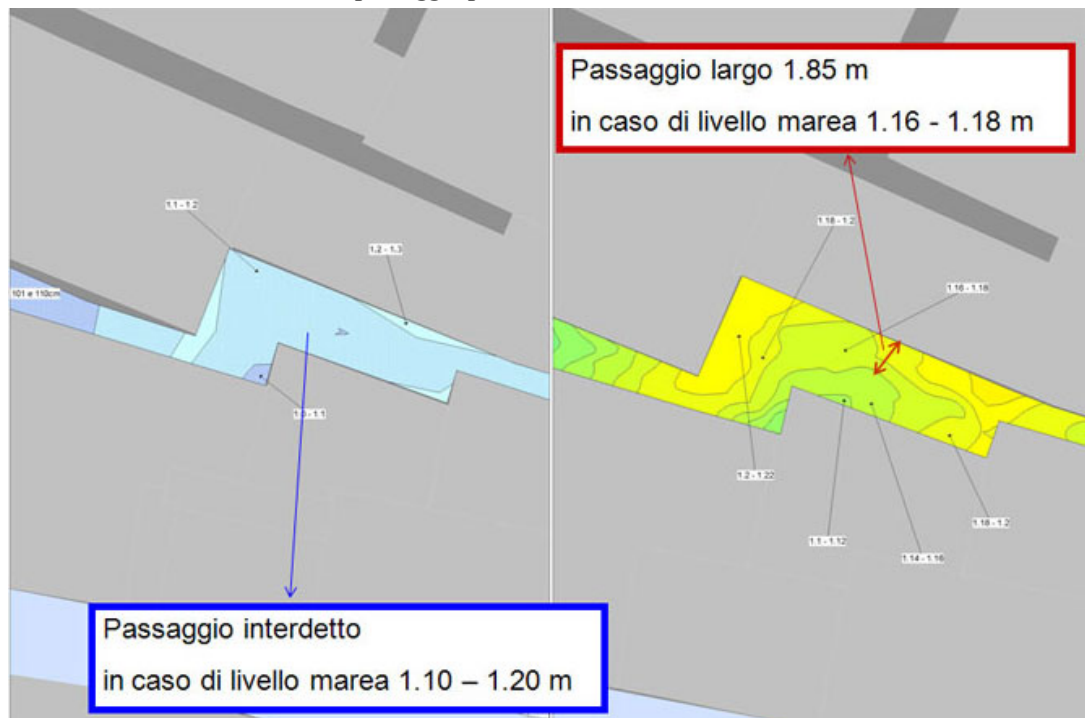


Figura 6 – Interdizione del passaggio pedonale.

In alcuni casi, l'analisi del modello discretizzato a 10 cm determina errori nell'individuazione delle pavimentazioni transitabili in funzione del livello di marea.

Nell'esempio di figura 6 supponiamo una marea di 1,16 m s.l.m.. Nel modello discretizzato a 10 cm (sulla sinistra) la pavimentazione non risulta transitabile, in quanto la quota della pavimentazione rientra nell'intervallo tra 1,11 m e 1,20 m, e l'area esondata corrispondente si estende a tutta la larghezza della calle; nel modello a 2 cm (sulla destra) si osserva che, per lo stesso livello di marea, in realtà non viene allagata tutta la larghezza della calle e che la pavimentazione con quota superiore a 1,16 m consente un passaggio minimo di 1,85 m.

2. le attività di progetto

Il progetto è il primo nel suo genere per l'integrazione delle metodologie impiegate e insieme per l'estensione e la capillarità del rilievo su scala urbana.

Per ottenere le precisioni richieste (1 cm in altimetria e 2 cm in planimetria) nel rilevare il modello altimetrico della pavimentazione della città, sono state utilizzate quattro diverse modalità di rilievo:

1. Gps
2. planimetrico
3. altimetrico
4. laser

La rete Gps (65 caposaldi nel centro storico) costituisce l'inquadramento generale. Il raffittimento della rete planimetrica collega ogni calle della città alla rete principale. La livellazione di alta precisione (che definisce i dislivelli della superficie fisica del terreno) raggiunge ognuno degli oltre 4.400 caposaldi. Il rilievo laser connette alla rete le nuvole di punti (più di 2.500 punti a metro quadro).

2.1. la rete Gps

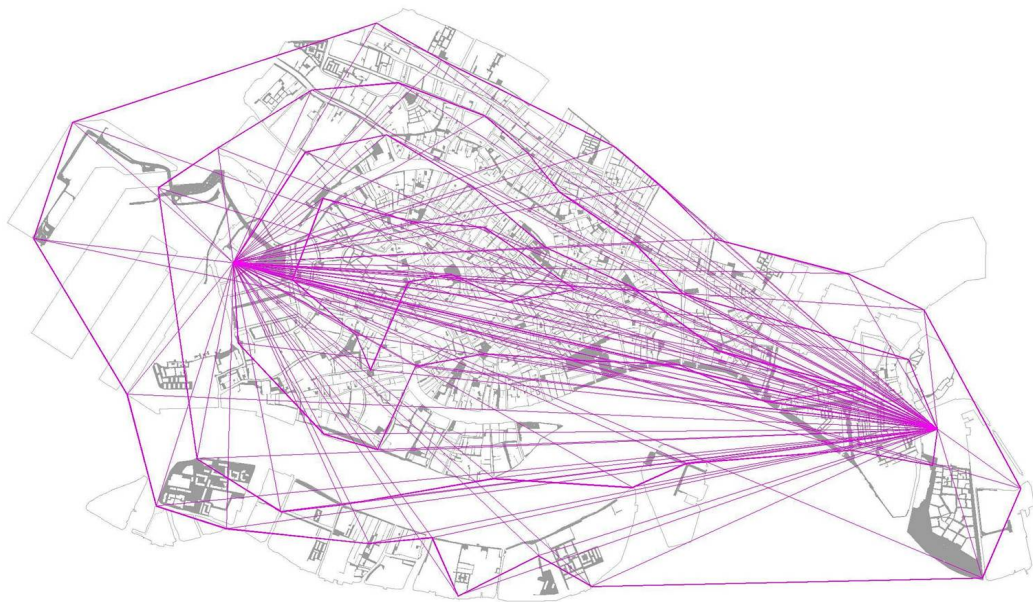


Figura 7 – Base lines della rete GPS.

La rete è costituita in totale da 65 vertici, 33 pre-esistenti (rete Gps2000) e 32 di nuova materializzazione, e da 190 linee di base.

Per tutta la durata del rilievo sono state utilizzate 2 stazioni sui vertici CS17 (area Actv cantiere navale) e SC07 (area Vesta) e sono stati utilizzati i dati acquisiti da tre stazioni permanenti localizzate a Cavallino, Chioggia e Marghera.

La struttura della rete presenta nella maggior parte dei casi, una configurazione delle *baseline* a ellissi concentriche. Ogni vertice è determinato da minimo quattro *baseline*, oltre alle osservazioni delle stazioni permanenti.

I vertici della rete Gps sono centrini metallici con una conformazione tale da permettere sia il centramento planimetrico di precisione sia la misura dei dislivelli. Il contrassegno, di materiale metallico indeteriorabile, è costituito da due pezzi.

Il rilievo della rete è stato realizzato con metodologia Gps in modalità statica con tempi di stazionamento di circa 2 ore realizzati in due sessioni indipendenti. Le misure sono state eseguite con 6 ricevitori contemporaneamente, in modo da garantire l'esecuzione di più basi contemporaneamente. Si è operato osservando in continuità almeno 5 satelliti per ogni sessione di misura, con strumenti programmati per un intervallo di acquisizione pari a 15 secondi.

2.2. inquadramento planimetrico

La rete planimetrica è stata realizzata con una rete primaria di inquadramento ed una secondaria o di raffittimento.

La rete planimetrica primaria di inquadramento (realizzata con strumentazione tradizionale) è una rete a lati lunghi; ha una struttura a rete formata da anelli chiusi, vincolati ai vertici della rete d'inquadramento Gps. E' stata divisa per blocchi distinti: 16 blocchi vincolati ciascuno da un minimo di quattro vertici Gps.



Figura 8 – Rete di raffittimento.

La rete secondaria di raffittimento è stata realizzata con un secondo livello con poligonali a lati corti tramite la misurazione di poligonali chiuse, vincolate agli estremi ai vertici delle reti d'inquadramento o semplicemente chiuse.

Solo in alcuni casi, in particolare nelle calli chiuse e dove non era realizzabile la chiusura di un anello, le poligonali realizzate presentano bracci aperti.

2.3. livellazione

È stata realizzata una rete altimetrica di inquadramento con livellazione di alta precisione per determinare la quota dei vertici delle reti di inquadramento e dei vertici delle poligonali di raffittimento. Come quota di partenza per il calcolo di compensazione della rete di livellazione è stata utilizzata quella del caposaldo Igm(Cso) denominato 170/12, ubicato nei pressi di piazzale Roma.

Come riferimenti verticali sono stati individuati alcuni capisaldi (Uima e di altri), più prossimi ai vertici della rete Gps. Le linee di livellazione sono principalmente ad anello e in alcuni casi, in particolare nelle stradine chiuse e dove non c'è possibilità di sbocco, risultano poligoni aperti. Le linee di livellazione di alta precisione sono costituite in totale da 4015 capisaldi (65 vertici inquadramento Gps, 65 riferimenti altimetrici, 757 vertici inquadramento tradizionale, 3128 vertici poligonali di raffittimento) per una lunghezza complessiva di circa 140 Km.

Le misure sono state effettuate in andata e ritorno, con livelli digitali con stadie a codice a barre, registrate automaticamente su memoria e poi opportunamente archiviate nella forma originale.

La misura di ciascuna battuta è stata realizzata stazionando con il livello fra le due stadie, con incertezza non superiore al 2% della loro distanza. La distanza fra strumento e stadia non ha superato i 40 m con la modalità di misura BF (B = indietro, F = avanti).

2.4. laser scanner

La campagna, che ha realizzato ben 22.000 scansioni laser, è stata condotta da 2 squadre di campo composte ognuna da 3 operatori.

Le scansioni sono state effettuate considerando un raggio utile non superiore a 12 m. In questo modo si è garantita la copertura del cono d'ombra di ogni scansione, pari a 2 m di raggio su un'altezza strumentale di 1,75 m (l'area di sovrapposizione di più scansioni contiene i coni d'ombra delle altre).

Ogni scansione ha intercettato almeno sei *targets* complessivi, tre con la scansione precedente e tre con quella successiva. I target sono di forma quadrata, di dimensione 5x5cm.



Figura 9 – Nuvole di punti di campo della Salute.

3. I risultati



Figura 10 – Caposaldi.

Più di 4.400 caposaldi sono stati materializzati nel centro storico di Venezia. Si tratta di caposaldi della rete Gps, di quella di raffittimento o di quella di inquadramento. È possibile scaricare gratuitamente dal sito www.ramses.it le monografie direttamente dalla mappa attivando i livelli della rete di interesse (Gps, inquadramento o raffittimento) e quindi cliccando sul punto desiderato.

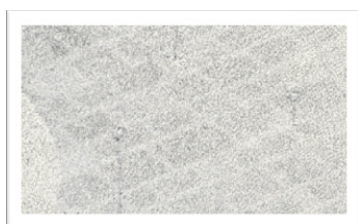


Figura 11 – Piano quotato.

Il rilievo ha prodotto un piano quotato con una densità di 2.500 punti al metro quadro. Tutti questi punti sono stati riferiti alla rete di inquadramento e quindi sono georiferiti con una precisione di 2 cm sul piano e di 1 cm in altezza. Da questi punti sono state ricavate le curve di livello e le linee della pavimentazione e gli elementi di discontinuità (i gradini, le soglie, i tombini, le vere da pozzo, le basi dei colonnati).

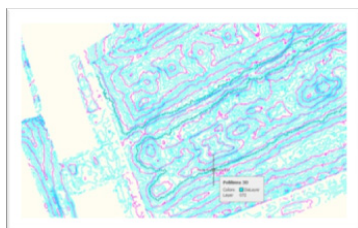


Figura 12 – Curve di livello.

Dal piano quotato sono state generate le curve di livello con una discretizzazione di 1cm. È possibile consultare l'insieme di tutte le curve di livello della città direttamente dalla mappa sul sito www.ramses.it, oppure è possibile scaricare un file per ogni isola in formato dwg dal pannello di controllo della mappa.



Figura 13 – Pavimentazione e linee di discontinuità.

Dal piano quotato sono state generate le linee di confine della pavimentazione, i limiti a terra degli edifici confinanti con la pavimentazione rilevata, le linee di discontinuità (gradini, ringhiere, arredo urbano, lampioni ecc.). È possibile scaricare dal sito www.ramses.it la pianta della pavimentazione di ogni isola di Venezia e del centro storico direttamente dal pannello di controllo della mappa.



Figura 14 – Tombini e caditoie.

È stato realizzato un censimento di tutti i tombini e le caditoie del centro storico (consultabili dalla mappa). Le tipologie sono state raccolte in un abaco riepilogativo a cui fanno riferimento tutti gli elementi della cartografia.



Figura 15 – Ponte delle guglie.

Sono stati rilevati con tecnica laser scanner i ponti di Rialto, della Costituzione, dei Tre archi, de la Sbiaca, delle Guglie, degli Scalzi, de la Cereria, Foscari e di Santa Margherita.

Mimuv, monitoraggio degli interventi di manutenzione urbana a Venezia

Rudj Maria Todaro

Insula spa, Santa Croce 505 30123 Venezia
Tel. 0412724218, Fax 0412724102, rudj.todaro@insula.it

Abstract

Mimuv è un sofisticato applicativo per la manutenzione urbana messo a punto per garantire ai cittadini una vita di qualità e una città sicura.

Con Mimuv, infatti, il cittadino può segnalare telefonicamente tramite un apposito numero verde, o via fax e via email, eventuali guasti all'arredo urbano, alle strade, all'illuminazione, consentendo, in questo modo, all'amministrazione locale di intervenire prontamente.

Un sistema di pronta risposta perfettamente flessibile. Flessibilità significa sperimentare l'adozione di nuovi processi di *governance* dei patrimoni da parte dell'ente pubblico, basati sulla collaborazione di tutti gli attori coinvolti (amministratori pubblici, cittadini, operatori) secondo una modalità autoalimentante. L'intervento dell'operatore nel territorio, reso possibile dalla conoscenza del territorio stesso e delle sue necessità, consente infatti di raccogliere ulteriori preziose informazioni, in un circolo virtuoso dove a giovare è il benessere del cittadino e della struttura urbana che lo ospita. Proprio partendo dalle esigenze degli operatori e dei cittadini, sono nate le applicazioni *geo-gestionali* per la manutenzione di Venezia, come Mimuv, applicazioni in grado di creare integrazione e omogeneizzazione di dati e processi, mantenendo la flessibilità necessaria, servendo e sostenendo il lavoro di dettaglio delle persone che quotidianamente svolgono un compito operativo per la città.

Mimuv is a sophisticated application for urban maintenance developed to provide a life of quality and a safe city for the citizens. Thanks to Mimuv, the citizen can report any problems with the urban furniture, the streets, the street lighting, by telephone, calling a dedicated toll-free number, by fax or by e-mail, thereby making it possible for the local administration to intervene promptly. A perfectly flexible rapid response system.

Flexibility means experimenting with the adoption of new governance processes for the heritage by public government agencies, based on the collaboration between all the actors involved (public administrators, citizens, operators) in a self-feeding mode. The operator 's intervention on the territory, made possible by his understanding of the local reality and its necessities, is an opportunity for gathering more precious information, in a virtuous circle which benefits the wellbeing of the citizen and the urban structure he lives in. The needs of the operator and the citizens were the starting point for the development of geo-management applications for Venice's maintenance, like Mimuv, applications that can ensure the integration and homogeneity of data and processes, maintaining the necessary flexibility, serving and sustaining the individual work of the people who operate daily in the city.

Come funziona

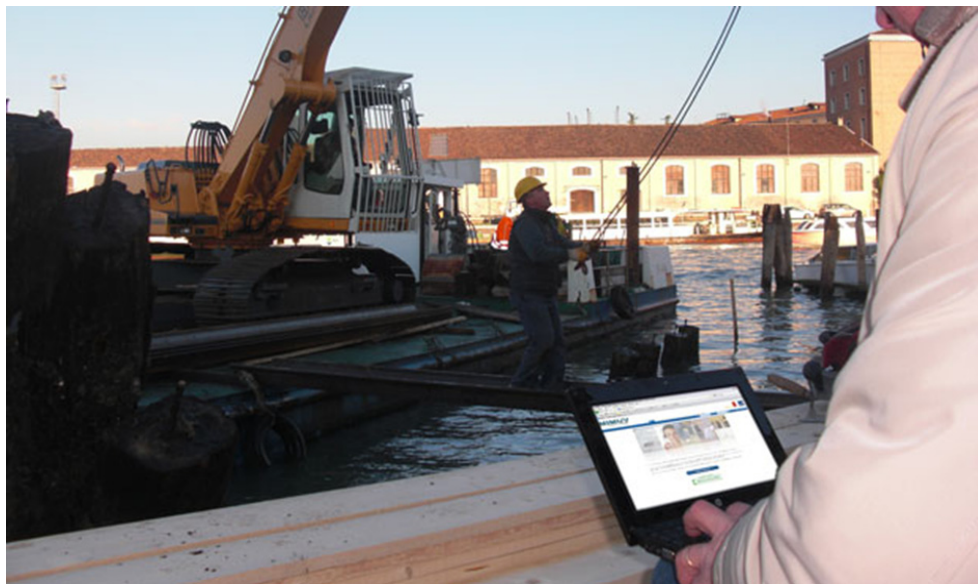


Figura 1 – Operatore mimuv.

Mimuv è un Gms web (*Geospatial maintenance system*) che si adatta alle logiche gestionali dettate dall'ambiente dove si opera. Utilizzando la mappa come cardine per la risoluzione della complessa gestione del territorio, Mimuv permette la contemporanea azione di tutti gli attori coinvolti.

Ogni attore del processo di manutenzione è anche operatore dell'applicativo web. Ogni giorno in Mimuv l'operatore trova i dettagli delle azioni che deve compiere, documenta il lavoro svolto e imposta il proprio lavoro e degli altri operatori. In funzione del ruolo che ricopre nel processo e sul territorio, ogni operatore ha accesso ai moduli di competenza. L'operatore di call center registra le segnalazioni (figura 2) e affida il sopralluogo a un tecnico di zona.

[illegible]

Figura 2 – Form segnalazione.

Il tecnico ritrova il sopralluogo tra i propri compiti sia nel *workbench* (figura 3) sia nella lista dei sopralluoghi da verificare. Allo stesso modo l'esecutore o il direttore lavori operano sull'applicazione di volta in volta in funzione delle necessità del momento.



Figura 3 – Workbench.

L'esecutore potrebbe dover proporre un preventivo, mentre il direttore potrebbe dover emettere un ordine di lavoro.

In ogni passaggio è possibile consultare/allegare documenti o inviare notifiche via mail, fax o sms.

Trasparenza

Sono davvero numerose le informazioni relative alla vita di una città che possono venire registrate in un sistema gestionale che segue puntualmente i processi operativi sottostanti al tessuto urbano. Informazioni che, oltre a essere un supporto prezioso per la gestione del territorio e per il governo dello stesso, risultano essere estremamente interessanti per il cittadino.

Se agli interventi massicci e alle grandi opere viene data massima rilevanza dai media e dalle cariche pubbliche, va da sé che, per converso, gli interventi di manutenzione quotidiana tendano a essere sottovalutati, in termini di importanza, nonostante risolvano e prevengano problematiche che stanno a cuore ai cittadini e la cui soluzione è garante della qualità della vita di tutti. Un criterio, quello della qualità, che diventa la misura del livello di efficienza del sistema urbano stesso, la capacità di rispondere alle esigenze e agli standard della sua utenza, perseguendo il benessere e ottimizzando, nel contempo, costi sociali, ambientali e tecnologici.

Mimuv è un sistema trasparente e capillare che risponde a questa esigenza ed evidenzia come ogni singolo intervento di manutenzione preventiva, sommato agli altri, possa creare un impatto inaspettatamente maggiore a quello scaturito da grandi opere pubbliche. La manutenzione preventiva diventa così chiaramente un investimento a medio lungo termine che si traduce in un vero e proprio guadagno per l'intera città. Perché, per fare un banale esempio, una pavimentazione

curata aumenta il valore del patrimonio immobiliare cittadino e la percezione di vivibilità di chi in quel luogo abita.



Figura 4 – Content management system.

Mimuv risponde a questo nuovo approccio all'analisi della realtà urbana, a una cultura della gestione dell'oggetto che incrementa il valore patrimoniale e alla cui base giace un principio di razionalizzazione e di adeguamento delle prestazioni delle strutture e infrastrutture alle esigenze dell'utente. Perché una città più sicura è il luogo in cui vuole vivere il cittadino.

I risultati raggiunti dall'amministrazione possono essere resi immediatamente disponibili ai cittadini attraverso strumenti di pubblicazione web (Cms, *Content management system*, figura 4).

Un esempio di processo

Innumerevoli sono i modi in cui un processo di manutenzione ordinaria può essere declinato. Possono cambiare gli attori, le modalità, le logiche. Mimuv è stato concepito per adattarsi di volta in volta a questi elementi, seguendo le necessità specifiche.

Facciamo un esempio con uno dei possibili modelli organizzativi (figura 5).

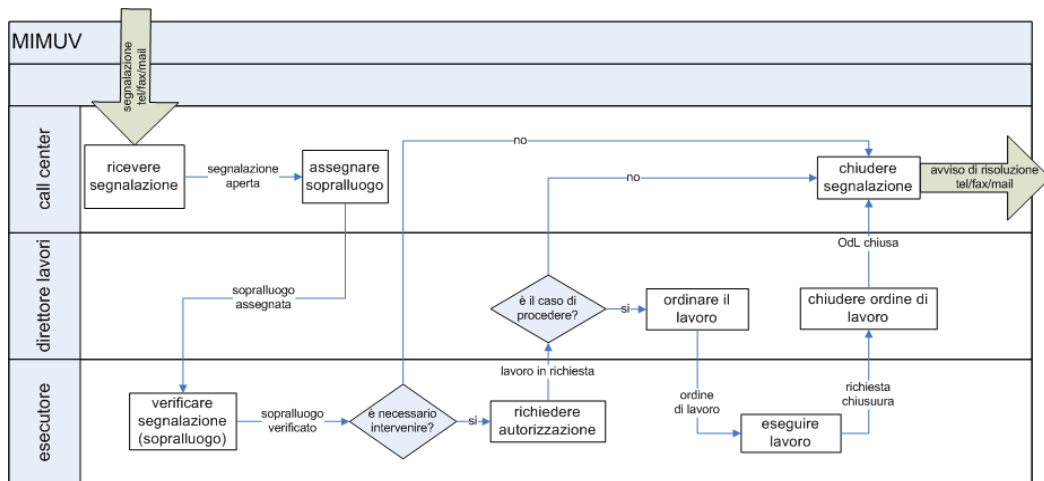


Figura 5 – Un esempio di processo.

Un cittadino telefona al call center per segnalare un problema: c'è un buco piuttosto grande nella pavimentazione di una strada. L'operatore del call center registra la segnalazione e assegna un sopralluogo di verifica al tecnico di zona (in gergo tecnico "l'esecutore"). Nel compiere questa azione l'operatore non è tenuto a sapere quale sia il modello organizzativo per quello specifico tipo di segnalazione in quel preciso punto: è l'applicazione che lo guida nell'avviare un sopralluogo e che indica il tecnico da interpellare. Il tecnico si reca sul luogo e verifica di persona la segnalazione. Nel caso sia necessario intervenire, chiede l'autorizzazione a procedere alla direzione lavori, sottoponendo la documentazione necessaria (foto del problema, progetto, preventivo ecc.). Il direttore dei lavori valuta la proposta e, se è il caso, emette l'ordine di lavoro. Il lavoro viene quindi eseguito e l'esecutore manda la richiesta di validazione al direttore dei lavori con la documentazione necessaria. Il direttore dei lavori verifica il tutto. Quando il processo è terminato il call center (sia che il lavoro sia stato eseguito, sia che si sia valutato diversamente) ne viene informato e quindi a sua volta ne dà notizia al cittadino.

In questo sistema ogni gestione presenta specifiche peculiarità ed è il processo che viene adattato alle esigenze, non viceversa. Dalla ricezione delle segnalazioni al compimento dell'intervento vengono sistematizzate tutte le fasi che lo compongono. In questo modo Mimuv standardizza il processo di manutenzione, declinandosi sulla realtà territoriale e sui criteri definiti da diversi amministratori del territorio, suddiviso in zone, nel pieno rispetto delle differenti modalità organizzative. Inoltre il processo di ispezione e valutazione è integrato con quello di gestione.

Tecnologia

La progettazione di Mimuv risponde alla specifica esigenza di centralizzare i dati per poter garantire una loro gestione migliore e, nel contempo, alla necessità di rendere disponibile il servizio al maggior numero di utenze possibili, senza dover seguire procedure di installazione e configurazione di applicativi sui client. In quest'ottica Mimuv è stato sviluppato con un'architettura client-server: la parte server lavora in ambiente Linux su piattaforma Java e Javascript, la parte client è invece un applicativo web cartografico.

La base di dati, sia quella tradizionale alfanumerica sia quella cartografica, risiede su un'istanza di database di Oracle 10g. Oracle supporta nativamente il dato spaziale secondo gli standard della Ogc (*Open geospatial consortium*) e comprende svariate funzionalità che vanno dall'archiviazione alla modifica, dalla validazione alle interrogazioni spaziali. I dati sono comunemente salvati in formato vettoriale.

I dati cartografici vengono utilizzati da Mimuv in due modalità: una diretta, nella quale le informazioni sono manipolate direttamente dal codice sorgente dell'applicativo e che consente di eseguire una molteplicità di operazioni, e una indiretta, che permette, tramite una apposita libreria, la visualizzazione dei dati sotto forma di cartina all'interno del browser. La libreria è sostanzialmente un rasterizzatore, che legge le entità cartografiche da Oracle sotto forma vettoriale, stilizzate e convertite in formato bitmap. L'estratto di mappa viene dunque inviato al browser come immagine, senza richiedere particolari plugin installati.

Gli utenti possono utilizzare Mimuv tramite interfaccia web, da qualsiasi postazione abbia accesso a Internet. Per fornire maggiori funzionalità e interattività si è fatto largo uso di tecnologia Ajax e programmazione Javascript, che avvicina l'esperienza d'uso delle pagine web a quella di un applicativo di tipo desktop. Tramite l'interfaccia è possibile non solo ricercare, inserire, modificare e consultare i dati ma anche navigare la cartografia tramite l'estratto di mappa. Gli eventi stessi, gli oggetti cartografici fondamentali su cui gira il processo Mimuv, possono essere disegnati e modificati direttamente sulla mappa.

Un sistema “Cloud Computing Server” per analisi 3D del terreno

Oreste Tommasi

GeoMind Srl (Abaco Group), Via Carducci 64/D, San Giuliano Terme (PI)
Tel. 050 9911062, Fax 050 9911063, email: tommasi@geomind.it

Riassunto

DbMAP Cloud Computing Server è un modulo per effettuare analisi ed elaborazioni avanzate su dati di elevazione del terreno; dispone di una varietà di funzionalità che vanno dall'analisi idrografica all'analisi di visibilità, e offre capacità di calcolo ad alte prestazioni in grado di operare su *raster* di enormi dimensioni. Questo modulo dispone inoltre di una interfaccia grafica 3D interattiva e facile da usare, per mezzo del programma client *DbMAP 3D Flyer*, con il quale è possibile ad esempio impostare il calcolo del bacino di una diga, di un bacino di drenaggio, di mappe di visibilità, ecc. con pochi click di mouse; anche i risultati sono visualizzati in 3D. Questo modulo può anche essere utilizzato come puro servizio web, interamente integrabile come componente *WPS* in sistemi OGC compatibili.

Abstract

DbMAP Cloud Computing Server is a module for advanced processing and analysis on terrain elevation data. Spanning from hydrography to visibility analysis, it offers a range of high performance computing capabilities which can operate on huge rasters. It offers an interactive and easy to use graphical 3D interface through the *DbMAP 3D Flyer* client program, which allows the calculation of dam basins, drainage basins, visibility maps, etc. with a few mouse clicks; the results are also visualized in 3D. At the same time, it can be used as a pure service, fully integrated in OGC compliant systems as a WPS component.

1. Introduzione

Le caratteristiche di elevazione del terreno rivestono un ruolo fondamentale nella nostra vita, sia a livello individuale, sia a livello sociale. L'elevazione e la pendenza determinano i bacini idrografici, le reti idrologiche e le zone di inondazione; le caratteristiche di elevazione del territorio influenzano la progettazione delle reti di trasporto, e determinano l'idoneità di un luogo per applicazioni specifiche. L'analisi del terreno basata su modelli digitali di elevazione è ormai divenuta una prassi comune in idrologia (Wilson, Gallant, 2000).

La disponibilità di nuove tecniche per l'acquisizione di dati di elevazione ad alta risoluzione (esempio: *LiDAR*) consente di costruire modelli del terreno particolarmente accurati, su cui effettuare analisi estremamente dettagliate.

Generalmente, l'analisi 3D del terreno viene condotta per mezzo di software desktop e workstation dedicate; i dati del modello del terreno, tipicamente espressi per mezzo di *DEM (Digital Elevation Model)*, valori di elevazione su una griglia regolare di punti, si trovano in locale rispetto agli applicativi che effettuano l'analisi; ciò è dovuto a questioni di efficienza di accesso, in quanto i dati di elevazione utilizzati possono avere dimensioni molto rilevanti. In questo articolo si descrive un'impostazione *server-based*, realizzata per mezzo della suite *DbMAP 3D* di GeoMind/Abaco, per effettuare analisi 3D del terreno anche attraverso un'interfaccia Web, e quindi consentendo di condividere funzionalità avanzate di calcolo sul terreno in maniera flessibile ed efficiente.

2. Architettura del sistema

Sebbene il modulo *Cloud Computing Server* possa essere utilizzato in una varietà di configurazioni, in questo articolo ci si concentra sull'architettura di un sistema che permette la condivisione di servizi avanzati di calcolo attraverso il Web.

Questo sistema, come mostrato schematicamente in Figura 1, è caratterizzato da:

- un modulo client 2D/3D, che permette di impostare i parametri di analisi e calcolo, definire le zone d'interesse, ecc., ossia che permette di definire le *query* di calcolo; lo stesso modulo client è poi in grado di mostrare l'output direttamente nella vista 2D/3D, come geometrie, raster o in formato numerico, a secondo dei casi;
- un Server capace di supportare ed erogare servizi WPS; nel caso preso in esame, si è utilizzato il server *deegree* (<http://www.deegree.org>), un progetto open source implementato in Java, e in grado di supportare lo standard WPS 1.0.0;
- il modulo di calcolo *Cloud Computing Server*, che si interfaccia con *deegree* come fornitore di servizi di calcolo specifici;
- una base dati di elevazione (DEM) su cui effettuare i calcoli; per efficienza di accesso, conviene che i DEM siano accessibili localmente al *Cloud Computing Server*.

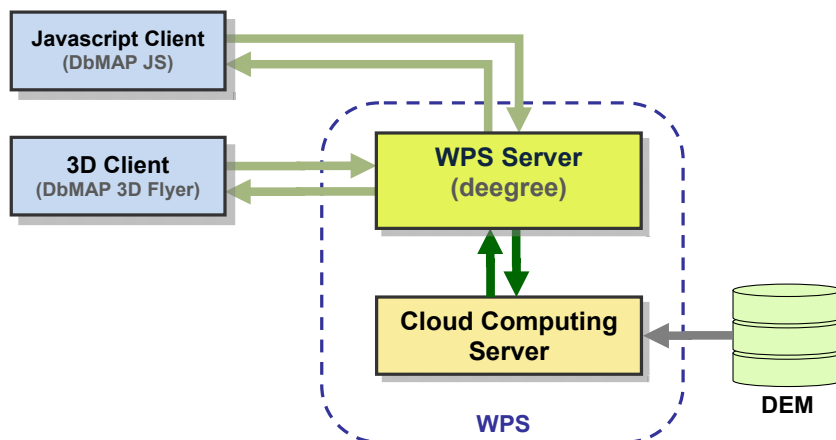


Figura 1 – Diagramma del sistema *Cloud Computing Server* in configurazione WPS.

Oltre ad effettuare le elaborazioni, il modulo *Cloud Computing Server* fornisce direttamente al server WPS tutte le funzionalità e le informazioni necessarie per rispondere alle chiamate *GetCapabilities*, *DescribeProcess* ed *Execute* previste dallo standard (per ulteriori dettagli sullo standard WPS si veda <http://www.opengeospatial.org/standards/wps>).

3. Ottimizzazioni

Il modulo *Cloud Computing Server* è in grado di gestire richieste multiple contemporaneamente. In generale, il sistema è impostato in modo da processare contemporaneamente, su *thread* separati, tante richieste quanti sono i *core* della CPU del computer. Non risulta conveniente parallelizzare oltre il numero di core della CPU, in quanto gli effetti di concorrenza ridurrebbero sensibilmente l'efficienza complessiva. Tuttavia, poiché il *Cloud Computing Server* può operare per mezzo di una rete (*cloud*) di computer (ognuno dei quali ospita il modulo di calcolo), tutti facenti capo a un singolo modulo master direttamente collegato al server WPS, è possibile scalare a piacimento il numero di richieste contemporanee effettivamente supportate dal sistema. Al di là delle considerazioni generali, una ulteriore ottimizzazione delle performance del sistema richiede un'analisi del caso specifico, nonché della natura dei dati DEM (risoluzione, estensione, ecc.).

Per quanto riguarda l'accesso ai dati DEM, come già detto tipicamente presenti in locale, i *thread* di calcolo contemporaneamente attivi non accedono a tali dati "selvaggiamente", ma l'accesso ai dischi è opportunamente gestito in modo da evitare inefficienze di concorrenza.

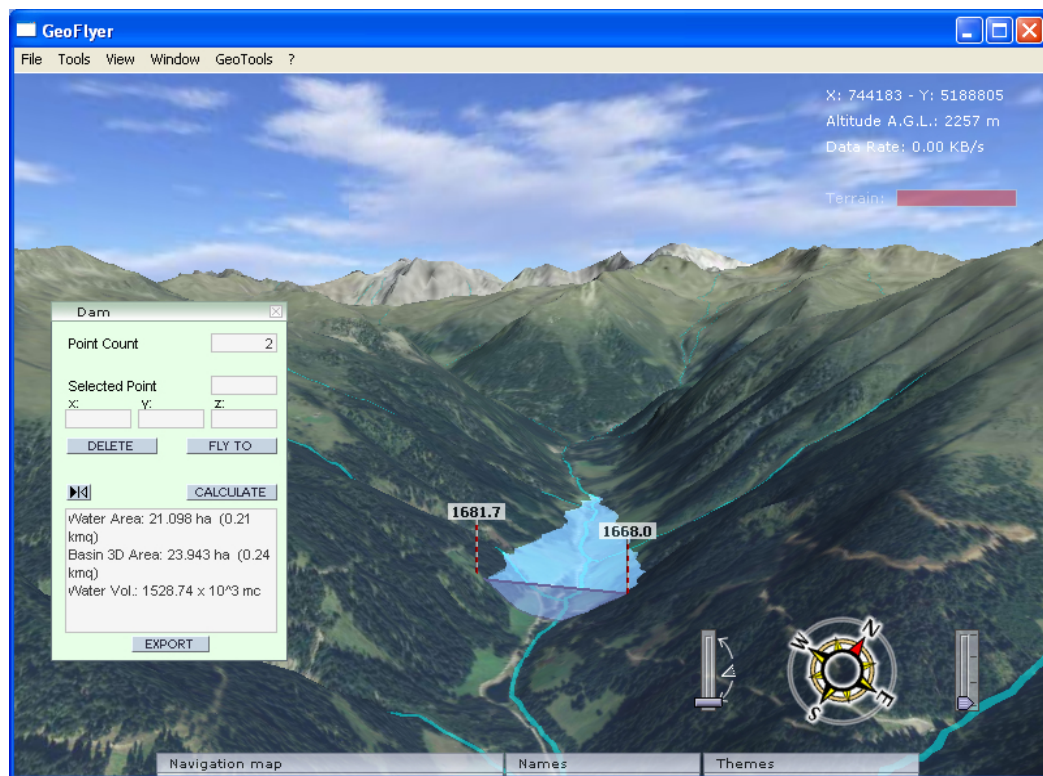


Figura 2 – Esempio di calcolo del bacino di una diga. Il risultato, oltre che visivo, riporta superficie e volume dell'invaso.

4. Interfaccia grafica 3D

Il fatto di essere facilmente integrabile in un sistema WPS rende il modulo *Cloud Computing Server* interoperabile, e quindi utilizzabile con qualsiasi interfaccia utente, sia questa implementata all'interno di un browser o in un applicativo specifico. Nell'esempio preso in considerazione, si è utilizzata un'interfaccia grafica 3D costituita dal software *DbMAP 3D Flyer*. I vantaggi di questa interfaccia utente dal punto di vista della facilità di impostazione dei parametri per mezzo di pochi click del mouse direttamente sul terreno visualizzato in 3D, e dell'efficacia di visualizzazione dei risultati è evidente.

Ad esempio, per il calcolo del bacino di una diga (Figura 2), lo sbarramento viene definito per mezzo di due click sul terreno; il risultato del calcolo viene mostrato direttamente nella finestra 3D. Analogamente, per il calcolo di un bacino idrografico, avendo definito la relativa sezione di chiusura (sempre per mezzo di un paio di click del mouse), l'area del bacino calcolato viene mostrata sul terreno in 3D (Figura 3).

Il *Cloud Computing Server* contiene diverse altre funzionalità (analisi volumetriche, calcoli di pendenza e aspetto, profili di altitudine, analisi di visibilità, ecc.); essendo a sua volta impostato in maniera modulare, le sue funzionalità possono essere estese sviluppando degli opportuni *plug-in*.

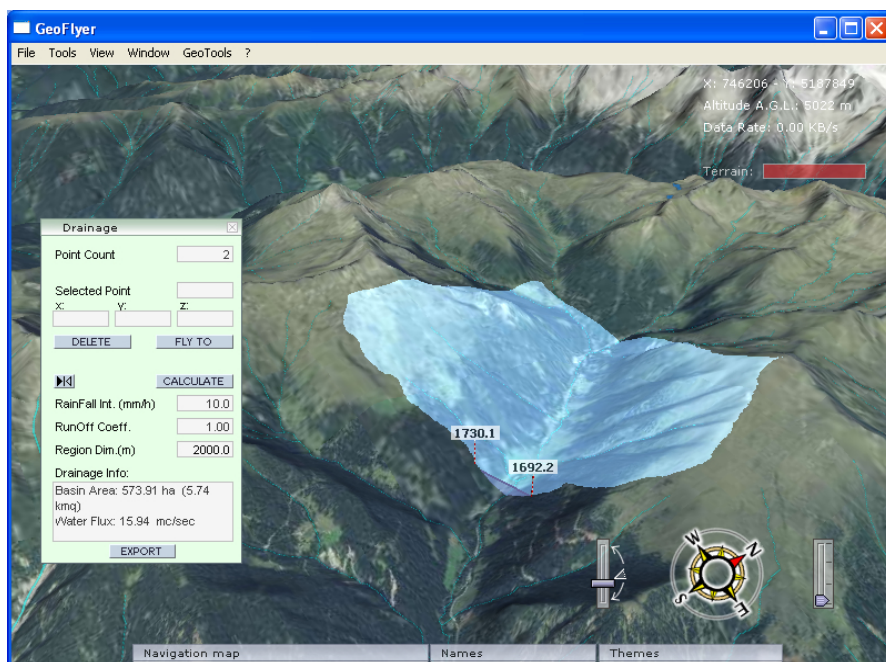


Figura 3 – Esempio di calcolo di un bacino idrografico, avendo definito la sezione di chiusura; il risultato è mostrato in semitrasparenza sul terreno.

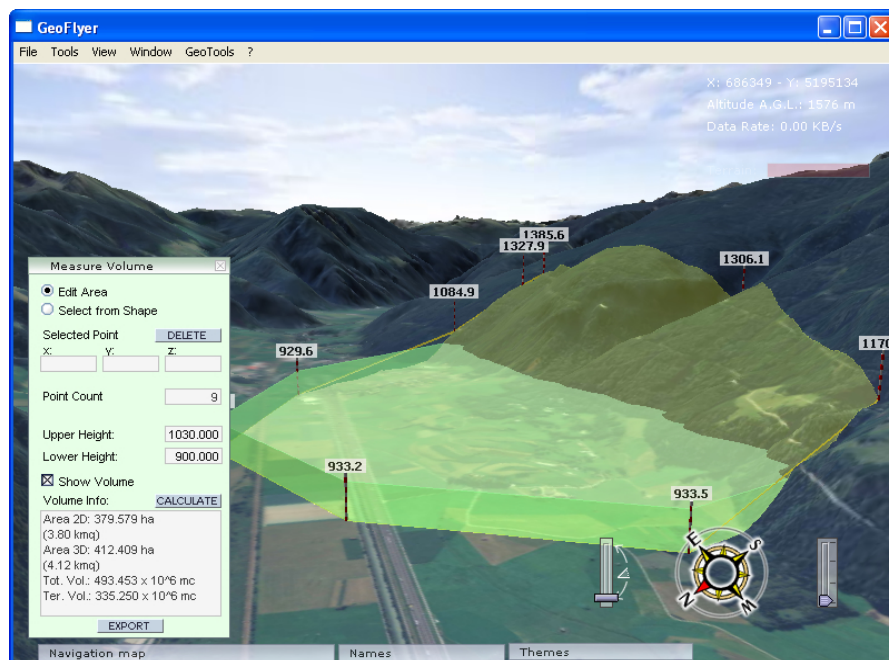


Figura 4 – Esempio di analisi volumetrica su un poligono definito dall'utente o proveniente da una base dati.

5. Esempio di algoritmo di analisi 3D: calcolo del bacino idrografico

Per un sistema server come quello descritto, che deve cioè essere in grado di rispondere a richieste multiple, l'efficienza di calcolo riveste un ruolo di primaria importanza. Per completare la discussione considereremo quindi, a titolo di esempio, un algoritmo corrispondente ad una delle funzionalità presenti nel *Cloud Computing Server*, analizzandone brevemente l'approccio sia dal punto di vista della qualità dei risultati sia dell'efficienza computazionale.

Il calcolo di un bacino idrografico su un terreno rappresentato per mezzo di un DEM (griglia regolare) consiste nel mettere in relazione i vari punti della griglia secondo le regole di deflusso definite dalle proprietà di pendenza in ciascun punto. In altri termini, avendo definito una sezione di chiusura, il corrispondente bacino idrografico è l'insieme di punti che forniscono un contributo di deflusso sui punti della sezione di chiusura.

Uno degli approcci utilizzati nella soluzione di questo problema (O'Callaghan e Mark, 1984) è quello che utilizza 8 possibili direzioni di versamento (metodo D8, Figura 5): per ogni punto del DEM si considerano gli 8 punti adiacenti, e il deflusso avviene nella direzione del punto che ha l'elevazione minima. I difetti dell'approccio D8 derivano dalla discretizzazione del flusso soltanto in una delle otto possibili direzioni, separate da un angolo di 45°; la risultante rete idrografica che ne deriva presenta evidenti condizionamenti da questo limite sulle possibili direzioni (Figura 6).

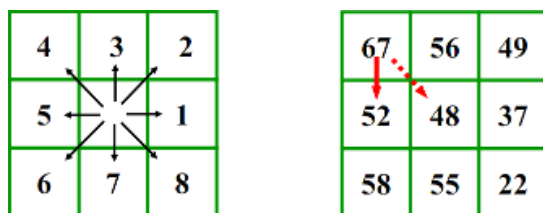


Figura 5 – Modello D8 per il calcolo della direzione di deflusso. In questo modello il deflusso avviene in direzioni discretizzate, verso il punto a quota inferiore.

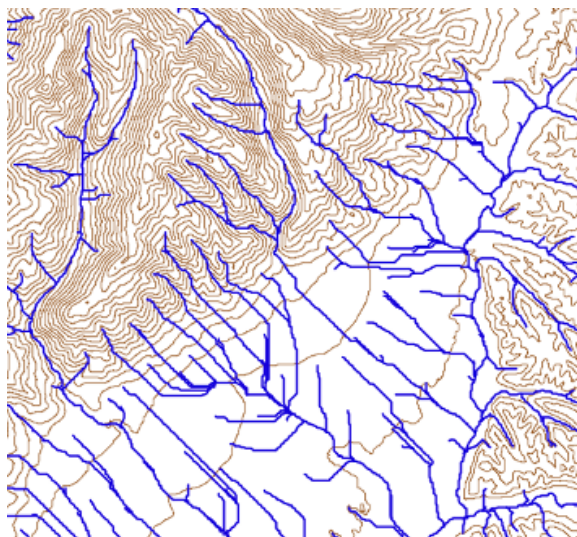


Figura 6 – Rete idrografica calcolata con il metodo D8; è evidente il condizionamento di direzionalità dovuto al fatto di avere soltanto 8 direzioni possibili di deflusso.

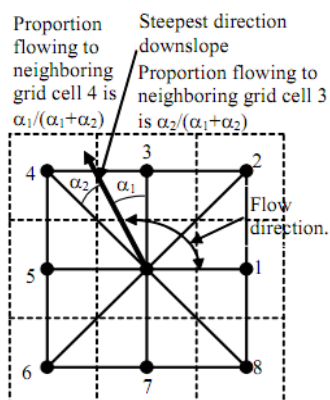


Figura 7 – Modello D_{∞} con direzioni di deflusso multiple (Tarboton, 1997).

Un approccio più raffinato prevede di considerare la direzione di deflusso come variabile con continuità (Tarboton, 1997); si parla in questo caso di modello D_{∞} , in quanto esistono infinite direzioni di deflusso possibili. Secondo il metodo descritto in (Tarboton, 1997) la direzione di deflusso in un punto individua comunque due celle, tra le 8 primi vicine, che ricevono un contributo dal punto considerato; tale contributo dipende linearmente dall'angolo della direzione di deflusso (Figura 7). Per ogni punto è quindi possibile considerare i contributi cumulativi provenienti da tutte le altre celle. Il modulo *Cloud Computing Server* utilizza un approccio derivato da (Tarboton, 1997), in cui la direzione di propagazione è ancora di tipo D_{∞} , ma il contributo viene assegnato per intero da cella a cella. In altre parole, ogni linea di deflusso viene calcolata “esattamente” a partire dai punti dello spartiacque, ma passa per intero attraverso i punti che meglio la approssimano. Questa impostazione consente una costruzione diretta dei bacini idrografici a partire dalla definizione delle linee di deflusso. In Tabella 8 è riportata una descrizione dell'intero algoritmo usato nel *Cloud Computing Server* per il calcolo di un bacino idrografico data una sezione di chiusura. Si veda anche la Figura 9 per la visualizzazione dei risultati intermedi e finali.

N	Fase di elaborazione	Descrizione
1	Calcolo punti di spartiacque	I punti di spartiacque sono definiti dall'avere una delle seguenti proprietà: <ul style="list-style-type: none"> - Sono dei massimi relativi, oppure - Posseggono più direzioni di deflusso (es.: sella)
2	Calcolo linee di deflusso primarie e definizione dei sottobacini	A partire dai punti in prossimità dei punti di spartiacque, si tracciano le linee di deflusso; una linea di deflusso termina in un minimo relativo, oppure incontra un'altra linea di deflusso; in questo ultimo caso le due linee di deflusso si uniscono a costituire un sottobacino (che potrà accogliere ulteriori linee di deflusso).
3	Calcolo linee di deflusso secondarie e completamento dei sottobacini	Per i punti che non sono ancora stati assegnati a nessun sottobacino, a partire da quelli a quota maggiore si ripete lo step precedente, finché tutti i punti del DEM sono stati assegnati a un sottobacino. Al completamento di questa fase, alcuni sottobacini sono direttamente in contatto con la sezione di chiusura; ogni altro sottobacino è definito dall'avere un punto di minimo relativo (altrimenti dovrebbe defluire in un altro sottobacino).
4	Fusione dei sottobacini	Sui sottobacini non in contatto con la sezione di chiusura si effettua un'operazione di traboccamento, ossia si cerca il minimo tra i punti di bordo del sottobacino, e lo si fa riversare nel bacino adiacente. Se un punto di traboccamento si trova sul bordo del DEM (o dell'area presa in esame), il sottobacino non viene fuso con nessun altro. Al termine di questa fase, il risultato sarà il bacino idrografico cercato (in contatto con la sezione di chiusura) ed altri bacini che hanno come chiusura o il bordo del DEM, o la linea di costa (o qualsiasi altra chiusura definita).

Tabella 8 – Descrizione di massima dell'algoritmo utilizzato per il calcolo del bacino idrografico data una sezione di chiusura.

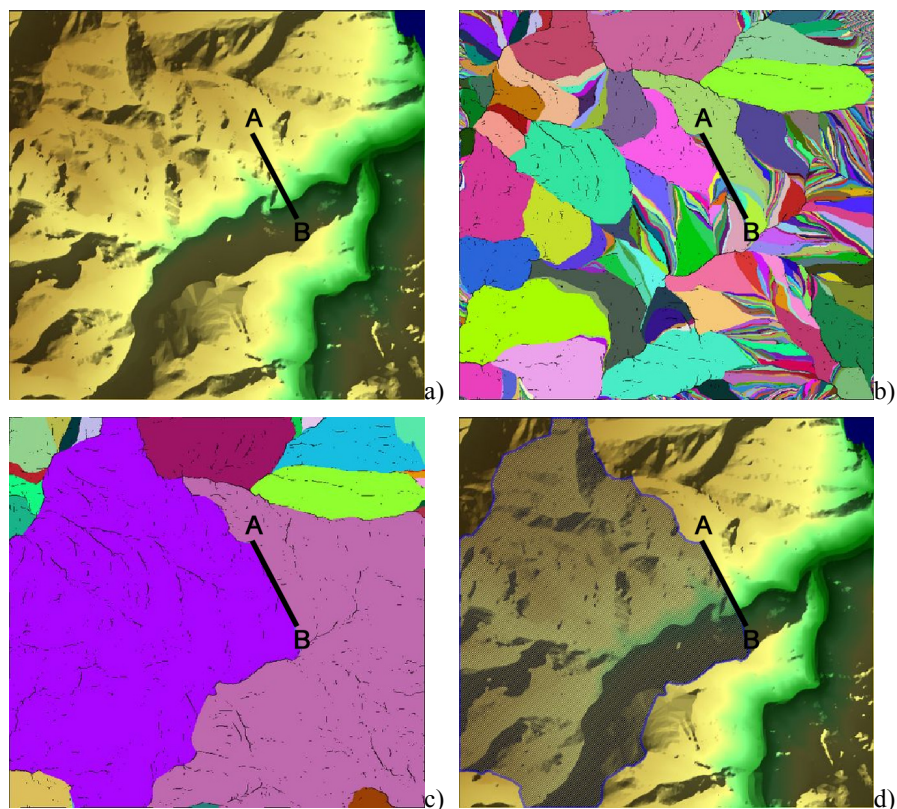


Figura 9 – Varie fasi del calcolo di un bacino idrografico; a) definizione della sezione di chiusura (segmento AB); b) calcolo dei sottobacini; c) fusione dei sottobacini; d) sovrapposizione del bacino idrografico sul DEM originale.

6. Conclusioni

In questo articolo si è illustrato un sistema per il processing di dati di elevazione del terreno che utilizza un approccio di tipo server, in modo fornire servizi avanzati di calcolo in modalità condivisa, senza la necessità di trasferire su ciascuna workstation i dati da elaborare. L'utilizzo del protocollo WPS garantisce l'interoperabilità; la possibilità di utilizzare interfacce utenti con visualizzazione 3D rende il sistema di facile utilizzo e di immediato feedback. Fra le funzionalità a disposizione, si è illustrato l'algoritmo per il calcolo dei bacini idrografici.

7. Bibliografia

- O'Callaghan J. F. e Mark D. M., (1984), "The Extraction of Drainage Networks from Digital Elevation Data," *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, 28: 328-344
- Tarboton D. G., (1997), "A New Method for the Determination of Flow Directions and Contributing Areas in Grid Digital Elevation Models," *Water Resources Research*, 33(2): 309-319
- Wilson J. P., Gallant J. C., (2000), *Terrain Analysis: Principles and Applications*, John Wiley and Sons, New York, 479 pagine.

Monitoring INSPIRE 2011 in Regione Piemonte: le attività del Punto Focale Regionale/SINAnet

Giuseppina Turco (*), Simona Costamagna (**), Antonello Navarretta (**),
Enrico Bonansea(***), Marcella Alibrando (***)

(*) Regione Piemonte, Direzione Ambiente, Via Principe Amedeo 17, 10123 Torino
e-mail: pfr.piemonte@regione.piemonte.it

(**) CSI Piemonte, Direzione Territorio e Ambiente, Corso Tazzoli 215/12b 10137 Torino
e-mail: simona.costamagna@csi.it , antonello.navarretta@csi.it

(***) ARPA Piemonte, Area Funzionale Tecnica, Sistema Informativo Ambientale Geografico
Via Pio VII 9, 10135 Torino, e-mail: e.bonansea@arpa.piemonte.it

Riassunto

La Direttiva 2007/2/CE (INSPIRE) prevede che gli Stati trasmettano alla Commissione una relazione annuale sui dataset e servizi geografici disponibili. Il suo recepimento nazionale (Dlgs 32/2010) stabilisce che il *Monitoring e Reporting* sull'attuazione delle direttiva sia compito del Ministero dell'Ambiente, attraverso l'ISPRA. Al fine di semplificare e standardizzare le operazioni di *Monitoring 2011*, la Commissione ha predisposto un *template* nel quale le Autorità pubbliche debbono inserire i propri dataset e servizi. Il PFR SINAnet/Piemonte, che coinvolge le Direzioni Regionali e l'ARPA e collabora con le Province e altri soggetti che operano sul territorio regionale, ha adottato una modalità organizzativa ed operativa per rispondere in modo coordinato a livello di territorio regionale. L'impostazione adottata in ambito piemontese può costituire una buona pratica ed essere estesa alle componenti di comune interesse tra il livello regionale e quello nazionale nonché a livello interregionale.

Abstract

In order to have a solid basis for decision making related to the implementation of INSPIRE Directive 2007/2/EC and to the future evolution of INSPIRE, continuous monitoring of the implementation of the Directive and regular reporting are necessary. Dlgs. 32/2010 establishes that the Monitoring and Reporting of INSPIRE are responsibility of the Ministry of Environment, ISPRA. In order to simplify and standardize operations Monitoring 2011, the Commission has prepared a template in which public authorities must insert the list of datasets and services.

The PFR SINAnet/Piedmont, involving Regional divisions and ARPA, has proposed an organizational and operational procedures to respond in a coordinated manner at the regional level. The approach adopted by Piedmont might form a good practice and be discussed and extended to national level and also interregional levels.

Il contesto

La Direttiva 2007/2/CE (INSPIRE) prevede che gli Stati trasmettano alla Commissione una relazione annuale sui dataset e servizi geografici disponibili; all'art. 21 sono definiti i principi di base per il *Monitoring* e il *Reporting*.

Con decisione n. 2009/442/CE della Commissione, del 5 giugno 2009, recante attuazione della direttiva INSPIRE per quanto riguarda il monitoraggio e la rendicontazione sono state approvate le modalità (IR) – *implementing rules* - per la realizzazione del *Monitoring* e del *Reporting* INSPIRE. *Monitoring* e *Reporting* sono riconosciuti come fondamentali ai fini dei successivi passi di

attuazione della direttiva e per la sua evoluzione futura; in entrambi vengono considerati i quattro principali ambiti di applicazione della direttiva INSPIRE: metadati, i set di dati e servizi, servizi di rete, la condivisione dei dati.

Il *Monitoring*, che si svolge ogni anno, segue un approccio quantitativo e si basa sulla predisposizione di un elenco di set di dati territoriali e servizi predisposti dagli Stati membri; sulla base dell'elenco vengono quindi calcolati degli indicatori che sintetizzano la conformità alla Direttiva.

L'elenco deve contenere, infatti, sia quanto è già conforme alla Direttiva INSPIRE sia quanto ancora deve essere reso conforme.

Proprio dall'analisi delle non conformità gli Stati membri possono valutare le politiche da adottare ai fini dell'attuazione della Direttiva INSPIRE nel proprio territorio.

Il *Reporting* viene elaborato invece ogni tre anni e segue un approccio qualitativo.

Tutti i risultati dei *Monitoring* e *Reporting* INSPIRE, vengono poi pubblicati sul sito di INSPIRE.

Spetta agli Stati membri decidere come coordinare i lavori e stabilire le modalità per la raccolta delle informazioni.

In Italia il recepimento della Direttiva INSPIRE è costituito dal Dlgs 32/2010, nel quale si stabilisce che il monitoraggio sull'attuazione della Direttiva sia compito del Ministero dell'Ambiente, attraverso l'ISPRA.

Al fine di standardizzare le operazioni di "Monitoring 2011", relative all'anno 2010, la Commissione ha predisposto un *template* nel quale le Autorità pubbliche devono inserire i propri dataset e servizi.

Il PFR SINAnet/Piemonte, che coinvolge le Direzioni Regionali e l'ARPA e collabora con le Province e altri soggetti che operano sul territorio regionale, ha proposto una modalità organizzativa ed operativa per rispondere in modo coordinato a livello di territorio piemontese attraverso la costituzione di un gruppo di lavoro inter-ente finalizzato ad attuare le fasi di *Monitoring*.

Il lavoro svolto dal GdL PFR Piemonte vuole essere un contributo a quanto ad oggi già delineato nei documenti predisposti dal '*Drafting Team Monitoring and Reporting* INSPIRE': in essi è infatti esplicitamente richiesto vengano condivise le esperienze perché possano portare ad un chiarimento delle questioni sollevate dagli Stati membri ed ad un eventuale aggiornamento dei documenti.

Le modalità di lavoro, i principi, le regole, le buone prassi utilizzate durante il lavoro di compilazione del *Monitoring*, ed anche i punti critici emersi, vengono qui di seguito riportate.

Data set

Una prima parte del *Template* predisposto per il Monitoring 2011, prevede vengano inserite per ogni *dataset* le seguenti informazioni: categoria tematica rispetto agli annex; esistenza di metadati per i set di dati territoriali e per i servizi; conformità servizi dei metadati rispetto alle specifiche; copertura geografica dei set di dati territoriali; conformità set di dati territoriali con le specifiche sui dati, quindi aderenza alle specifiche IR dei singoli annex; accessibilità dei metadati per i set di dati territoriali e servizi attraverso servizi di ricerca (*Discovery*); accessibilità dei set di dati territoriali attraverso servizi di consultazione (*View*) e servizi di *download*; uso dei servizi di rete; conformità dei servizi di rete.

A livello del territorio regionale - Regione Piemonte - è stato compilato un unico report che contiene gli "*Spatial Dataset*" e "*Services*" degli enti che partecipano al PFR Piemonte/Sinanet.

Dal punto di vista operativo si è partiti dalla compilazione di elenchi da parte di ognuno dei soggetti coinvolti nel GdL. In questo primo lavoro ci si è concentrati su: assegnare per ogni dataset inserito la corretta categoria di Annex, indicare la presenza per il data set del relativo metadato e definire in modo preciso l'ambito territoriale coperto dal dato.

Dall'analisi degli elenchi prodotti dai singoli enti sono emersi i primi elementi di discussione, di valutazione ed i primi dubbi interpretativi.

In alcuni casi è stata riscontrata la presenza dello stesso dataset presso diversi soggetti con

differenze, in taluni casi anche rilevanti, a livello di identificazione-titolo, significato semantico associato al dato nell'ambito dell'ente e di versione/data di aggiornamento. In altri casi sono emerse discrepanze interpretative sulla corretta classificazione dei dataset sia rispetto alle categorie tematiche ISO-INSPIRE sia rispetto ai *data-themes* degli allegati della direttiva. Tale difficoltà, peraltro dibattuta anche in altre realtà nazionali e a livello europeo, risiede principalmente nell'estrema sinteticità (e a volte apparente contraddittorietà) delle descrizioni e degli esempi associati ai singoli termini nell'ambito dei documenti ufficiali (Direttiva, Linee Guida, IR etc), rispetto alla complessità ed eterogeneità dei dati specifici prodotti negli anni dai singoli enti. A ciò si deve aggiungere un aspetto non irrilevante ma tipico di ogni attività classificatoria o tassonomica, connesso ai diversi punti di vista "tematici" o "specialistici" adottabili nella classificazione della realtà per i quali lo stesso dato-oggetto può essere visto ed utilizzato con significati molto diversi a seconda del contesto (topografia, protezione civile, urbanistica, ambiente ecc).

Per quanto riguarda l'individuazione della corretta categoria tematica si è potuto osservare come la scelta sia strettamente legata alla possibilità di potersi riferire alle *Implementing Rules – IR* - dei diversi Annex, ad oggi però disponibili per gli Annex I.

Per gli Annex II e III, il percorso che porta alla definizione delle IR è ancora in corso e la sua conclusione è prevista per fine 2012.

Nel GdL è stato ancora sottolineato come sia stato importante partecipare ai TWG e ora sia utile sfruttare la fase di test sulle specifiche redatte, proprio per poter evidenziare ulteriori problematiche e specificità a partire dai dataset finora acquisiti in Piemonte.

A partire dagli elenchi condivisi il GdL ha individuato la versione di riferimento per ogni *dataset*, sottolineando ancora una volta la prioritaria necessità di accordi e coordinamento tra enti che lavorano sullo stesso territorio regionale per gestire al meglio il patrimonio di informazioni, anche ai fini della messa a disposizione di informazioni verso il livello nazionale e comunitario.

Ai fini del *Monitoring 2011* si è deciso di inserire i *dataset* rispondenti ai seguenti requisiti:

- qualità e validità dei set di dati territoriali (dati validati, consolidati, aggiornati)
- disponibilità di relativa metadocumentazione accessibile in un servizio di *discovery* / catalogo di metadati: Catalogo delle Informazioni Ambientali; SITAD; Geoportale Transfrontaliero RiskNat;
- un'autorità pubblica responsabile della creazione, gestione, manutenzione e distribuzione dei set di dati territoriali e dei servizi ad essi relativi; tale responsabilità può essere sia di tipo giuridico sia derivante da accordi tra autorità pubbliche. Ai fini del *Monitoring* non sono stati inseriti quindi i dataset per cui non si è distributori autorizzati verso soggetti terzi (ad esempio: immagini satellitari o foto aeree) e tutti i dati che - pur in uso nel proprio ente - siano stati prodotti da altri: es. dati Census prodotti da ISTAT.

Un ulteriore punto di riflessione ed analisi affrontato ha riguardato il concetto di "versione di riferimento del dato" e di centralità del metadato.

E' stato evidenziato come per raggiungere gli obiettivi indicati dalla Direttiva INSPIRE siano indispensabili alcuni passi fondamentali e preliminari volti ad individuare:

- l'ente responsabile della versione di riferimento dei dati;
- la versione di riferimento in caso di più copie;
- un'attenta denominazione del titolo della risorsa - *Resource Title*: potrà essere riportata anche una sigla significativa ma si avrà cura di descrivere per esteso il contenuto del dataset (PTO, ASCO, ARIR...);
- la definizione di accordi tra enti per le condizioni di messa a disposizione delle informazioni (D.Lgs 32/2010 Art. 10);
- le relazioni ed i vincoli tra la versione di riferimento ed altre basi dati tematiche ad essa collegate (es. grafo del reticolo idrografico rispetto alla tipizzazione dei corsi d'acqua ai sensi della direttiva

| europea WFD 60/2000);

- le relazioni e vincoli a livello interregionale e nazionale (es. il Nuovo Grafo della Viabilità – NGV avrà dei punti di attestazione condivisi con le regioni confinanti);
- la definizione delle modalità di aggiornamento del dato; almeno per i dataset che sono di riferimento a livello regionale è necessaria un'organizzazione che gestisca l'aggiornamento del dato; si veda l'esempio del “Reticolo idrografico regionale di riferimento - DB Prior 10k - Elementi idrici”;
- il collegamento tra licenza d'uso dei dataset e i relativi servizi di download, per evidenziarne le condizioni d'uso e la sua eventuale valenza giuridica;
- l'estrema rilevanza assunta dalla metadocumentazione come elemento fondamentale di sintesi di tutti questi aspetti e come strumento cardine per la condivisione attraverso la federazione di cataloghi distribuiti.

Per quanto concerne la versione di riferimento, il dataset “Reticolo idrografico regionale di riferimento - DB Prior 10K - Elementi idrici”, inserito nel censimento “Monitoring INSPIRE 2011”, rappresenta un esempio virtuoso in Regione Piemonte.

Sono state armonizzate in un unico *dataset* tutte le informazioni disponibili su livelli informativi diversi; tale dato è divenuto base di partenza per l'ulteriore e continuativo miglioramento, ad opera dei soggetti riconosciuti tra i competenti in materia.

Analoghi processi sono previsti per i *dataset* relativi a Viabilità, Limiti amministrativi ed uso del suolo.

Per i dati creati attraverso l'armonizzazione in un unico *dataset* di dati prodotti da altri enti (quali comuni, province, ...) la pubblicazione verso il livello nazionale e comunitario potrà avvenire solo a valle di accordi presi sulle modalità di pubblicazione del dato.

Nel *Monitoring 2011* tra i *dataset* sono stati inseriti dati aventi un valore giuridico diverso:

- *elementi di conoscenza del territorio*: non hanno valore giuridico; es. bacini idrografici; toponomastica; ...
- *dati di riferimento*: hanno valore giuridico e chi rilascia la copia di riferimento se ne assume la responsabilità; ad esempio: Vincoli territoriali

Particolare attenzione è stata dedicata all'analisi dei *dataset* che vengono consegnati a livello comunitario per rispondere a richieste di Report derivanti da direttive comunitarie.

Nel corso dei lavori del GdL sono emerse difficoltà interpretative nell'attribuzione delle categorie INSPIRE:

- in alcuni casi si è reso necessario inserire il *dataset* in più categorie Annex per evidenziare la complessità delle informazioni contenute nel dato; tale scelta trova conferma nell'editor dei metadati presente su Geoportale INSPIRE in cui è possibile collegare ad un metadato più categorie Annex; vedi “Parole chiave”.
- difficoltà di identificazione della categoria tematica *Annex*, incoerente e/o insufficiente rispetto ad alcune tipologie di dati ambientali; il GdL ha effettuato convenzionalmente alcune associazioni dataset/categoria, che andranno discusse e verificate almeno a livello sovraregionale e subregionale;
- attribuzione dei dataset di monitoraggio ambientale, categoria prevista del Dlgs 32/2010, per quanto concerne i dati raccolti dalle reti - qualità e quantità delle acque; qualità dell'aria; qualità dei suoli etc - che non trova riscontro nelle categorie disponibili; nel GdL si è deciso di associare tali dati di monitoraggio - di per sé di natura alfanumerica ma sempre collegati ad un punto di rilevamento geolocalizzato - alla voce III.7 “Environmental monitoring facilities”: sono stati quindi inseriti sotto questa categoria sia la localizzazione delle stazioni delle reti di monitoraggio sia i dati di monitoraggio da essi rilevati.

Questi aspetti richiedono un approfondimento e decisioni condivise a livello nazionale, nelle sedi già opportunamente previste dal Dlgs 32/2010. A livello tecnico, si rende necessario compiere altri approfondimenti sui documenti prodotti dai TWG per la definizione delle specifiche sui dati che porteranno alla definizione delle *Implementing Rules* (IR).

Services

Il *Monitoring INSPIRE* richiede che vengano quindi censiti i “*Services*” quindi i servizi di dati geografici e servizi di rete previsti nel “Regolamento (CE) N. 976/2009 della Commissione del 19 ottobre 2009 recante attuazione della direttiva 2007/2/CE del Parlamento europeo e del Consiglio per quanto riguarda i servizi di rete”.

I tipi di servizi da considerare sono: Servizi di ricerca (*Discovery*); Servizi di consultazione (*View Service*), Servizi di scarico dati (*Download*), Servizi di conversione (*Transformation service*) e servizi di richiesta di servizi territoriali (*invoke spatial data service*).

Ai fini del *Monitoring* si è fatto riferimento quindi alle specifiche “*Technical Guidance*” - alcune aggiornate di recente nel marzo 2011 – per verificare la conformità ad INSPIRE dei servizi di dati geografici realizzati in ambito piemontese.

La Fig.1 evidenzia il rapporto tra le norme di attuazione – *Implementing Rules* - previste da INSPIRE che hanno valore cogente e le *Technical Guidance* non hanno valore cogente.

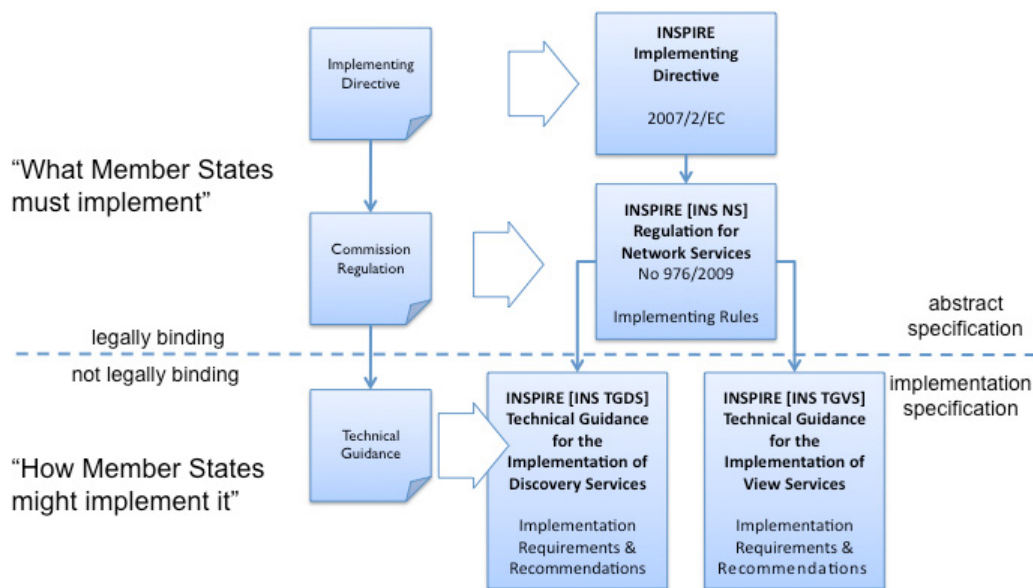


Figura 1 – Relazione tra INSPIRE Implementing Rules and Technical Guidance.

Per ognuno dei servizi di dati geografici inseriti nel censimento sono state dichiarate: esistenza dei metadati, conformità dei metadati, accessibilità dei metadati attraverso servizi di *discovery*, la quantificazione di massima del numero di richieste utente annue e la conformità dei servizi di rete.

Per quanto concerne i servizi di ricerca sui metadati – *Discovery* – nel template *Monitoring 2011* sono stati inseriti i seguenti servizi: il Catalogo SITAD; il Catalogo delle informazioni ambientali, Catalogo del Geoportale Transfrontaliero RiskNat.

Per quanto riguarda la conformità dei metadati gestiti e la rispondenza alle specifiche di interoperabilità dei servizi di *discovery*, entro la fine dell'anno è previsto che il Sitad ed Catalogo delle informazioni ambientali siano resi conformi alla struttura di metadati ISO INSPIRE e alle

specifiche di interoperabilità CSW (*Catalogue Service Web*), rendendo quindi possibile la federazione di cataloghi

Il catalogo metadati del Geoportale Risknat (Progetto strategico transfrontaliero Italia-Francia per i rischi naturali) costituisce inoltre un primo importante esempio di catalogo federato di metadati prodotti, gestiti ed aggiornati direttamente da più enti (Arpa e Regione Piemonte, Regione Liguria, Regione Valle d'Aosta, Provincia di Cuneo, Provincia di Imperia, Dreal e Region PACA, Dreal e Region Rhone Alpes) secondo i principi di condivisione ed interoperabilità promossi dalla Direttiva Europea INSPIRE.

Gli standard adottati sono quelli internazionali (ISO 19139/19115 Datasets, ISO 19139/19119 Web Services), quelli europei (INSPIRE dataset e services) e nazionali italiani (RNDT Dataset e servizi). Per quanto riguarda i "View services", sono state analizzate le "Technical Guidance_ViewService_v3.0" pubblicate sul sito INSPIRE il 21 marzo 2011, in particolare: *"An INSPIRE View Service shall implement the minimal mandatory behaviour from an [ISO 19128] service, extended with the extensions required by the INSPIRE Directive and the Implementing Rules for View services. The use of [ISO 19128] de jure standard as a basis for implementing an INSPIRE View service means that this service shall comply with the "basic WMS" conformance class as defined in this de jure standard. Compliance with the "basic WMS" conformance class should augment the feasibility of reaching Initial Operation Capability (IOC) by the legal deadline of May 9th 2011 as INSPIRE conformant WMSs can be built based on available software that has obtained certification for this standard."*

Sono quindi stati inseriti nel censimento i servizi di visualizzazione geo-servizi WMS (*Web Map Service - Open Geospatial Consortium standard*) reperibili nei cataloghi SITAD e Risknat e metadocumentati come geo-servizi.

Per i servizi di *download* sono ad oggi disponibili, in Regione Piemonte, prevalentemente servizi statici di scarico. Pur essendo questa tipologia di scarico dati conforme ad INSPIRE, si è preferito inserire nel *Monitoring* solo i servizi WFS (*Web Features Service - OGC Standard*). In particolare è stato inserito il WFS realizzato per le Aree Protette Siti Natura 2000, che è la prima effettiva esperienza in Regione Piemonte di armonizzazione di dati, metadati e servizi di download, in conformità alle specifiche della Direttiva INSPIRE.

Considerazioni finali

Nel D.Lgs 32/2010 per quanto concerne le misure di coordinamento previste all'art. 19 della 2007/2/CE (INSPIRE) è scritto che "[...], il 'Tavolo di Coordinamento Stato - regioni per il sistema nazionale di osservazione ed informazione ambientale' costituito con Atto n. 1367 del 17 gennaio 2002 della Conferenza permanente per i rapporti tra lo Stato, le regioni e le Province Autonome di Trento e di Bolzano, è trasferito presso il Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare ed assume la denominazione di 'Consulta nazionale per l'informazione territoriale ed ambientale' [...].

Con il medesimo provvedimento sono anche individuate, nell'ambito della Consulta, una o più sezioni tecniche per l'attività istruttoria su specifiche tematiche di competenza dell'Organo, tra cui almeno una sezione denominata "Tavolo tecnico di cooperazione" tra il livello nazionale ed il livello regionale per la realizzazione di un sistema coordinato e condiviso per il governo, la tutela, il monitoraggio ed il controllo dell'ambiente, del territorio e del mare, nell'ambito del SINAnet.

Ad tutt'oggi il DPCM del Ministero dell'ambiente, che prevede la formazione della Consulta, non è stato emanato.

Nel GdL si è più volte sottolineato quanto l'assenza della Consulta determini un contesto di incertezza.

I PFR SinaNet, considerata la trasversalità e la frammentarietà della produzione di informazioni di interesse ambientale, rappresentano un fattore di raccordo "tecnico-operativo", per quanto attiene l'analisi delle problematiche e l'individuazione di possibili soluzioni che, una volta approvate,

debbono diventare oggetto di accordi tra gli enti, sia a livello infraregionale che verso livello nazionale e comunitario, per una effettiva attuazione della Direttiva INSPIRE.

Rimane da compiere ancora un passo fondamentale per l'attuazione di INSPIRE: l'armonizzazione dei *dataset* ai "Specific Data Model" definiti dalle IR, passando quindi da un livello concettuale/logico a un livello fisico.

Ad oggi tale processo in Piemonte è ancora in gran parte da svolgere, ad eccezione, come già ricordato, del solo tema delle Aree protette Siti Natura 2000. Per altri dati sono in corso sperimentazioni anche ai fini del test delle specifiche redatte dai TWG sugli Annex II e III.

E' importante che il processo di armonizzazione sia sviluppato, fin dall'attuale fase di test dei documenti di specifiche (*draft v2*), con procedure automatiche di trasformazione dei dati. Ad esempio potranno venir sperimentate le applicazioni messe a disposizione dal progetto "Humboldt Framework", come HALE (HUMBOLDT Alignment Editor (<http://community.esdi-humboldt.eu/projects/show/hale>)).

Questo modo di lavorare costituisce garanzia sia al continuo aggiornamento dei dati sia alla reale adesione alle specifiche dei "*data model*" dei singoli dataset, ancora per la maggior parte in corso di definizione.

In conclusione, l'esperienza del *Monitoring* INSPIRE in Piemonte ha rappresentato un'importante occasione di coordinamento, condivisione e riflessione per tutti i soggetti coinvolti sul processo di attuazione della Direttiva e più in generale sulle modalità e le strategie di cooperazione ed organizzazione del sistema a livello regionale.

L'attuazione del *Monitoring* attraverso il PFR SinaNet/Piemonte ha consentito di affrontare in modo condiviso, organico e trasversale l'analisi di tutti i tematismi, attraverso il coinvolgimento attivo, responsabile e paritetico dei principali produttori e gestori dell'informazione, estendibile in futuro anche agli altri enti ed autorità ambientali piemontesi.

L'analisi svolta ha consentito di giungere ad un primo quadro sullo stato di attuazione della Direttiva, evidenziando punti di forza e criticità ed affrontando dubbi interpretativi per i quali sono state delineate soluzioni condivise ed omogenee fra tutti gli enti.

Il lavoro svolto e le modalità operative adottate del Gdl PFR pongono pertanto le prime basi organizzative e tecniche per l'avvio della costituzione di un sistema distribuito ed un'infrastruttura regionale per l'attuazione di INSPIRE.

Riferimenti bibliografici

Monitoring and Reporting Drafting Team INSPIRE, "Monitoring Indicators – Guidelines Document, v. 5.0",

[http://inspire.jrc.ec.europa.eu/documents/Monitoring_and_Reporting/INSPIRE_MR_Guidelines_R](http://inspire.jrc.ec.europa.eu/documents/Monitoring_and_Reporting/INSPIRE_MR_Guidelines_Reporting_2011-01-18_v%205.0.pdf)

Brizzolara L., Turco G., Sarzotti E., Zamponi L. (2007), "Punto Focale Regionale del SIRA: obiettivi, soluzioni organizzative e tecniche", *Atti 11a Conferenza ASITA 2007*, 6-9 novembre 2007, Torino, pp. 515-520.

Turco G., Sarzotti E., Zamponi L., Bonansea E. (2007), "PFR Piemonte – Strumenti per la condivisione delle informazioni tra gli enti della PA", *Atti 11a Conferenza ASITA 2007*, 6-9 novembre 2007, Torino, pp. 2135-2140

Turco G., Garretti L., Navarretta A., Sarzotti E., Bonansea E. (2007). "Armonizzazione dei metadati tra la componente ambientale e quella geografica", *Atti 11a Conferenza ASITA 2007*, 6-9 novembre 2007, Torino, pp. 2141-2146.

Fusione di DSM ed immagini per l'estrazione automatica di linee di rottura dal DSM

Gessica Umili, Gianfranco Forlani

DICATeA, Università degli Studi di Parma, Viale G.P. Usberti 181/a, 43124 Parma (PR), Italy
Tel. +39 0521 905934, Fax +39 0521 905924, E-mail: gessica.umili@nemo.unipr.it, gianfranco.forlani@unipr.it

Il presente lavoro descrive un metodo per estrarre gli *edge* presenti in un Modello Digitale della Superficie generato con tecniche fotogrammetriche o laser scanner di cui sia disponibile anche un'immagine con parametri di orientamento interni ed esterni noti. Partendo da una *mesh* triangolata si ricostruisce un *edge* connettendo i vertici con curvatura massima locale, chiudendo piccoli gap ed eliminando i vertici ripetuti. Ognuno degli *edge* così assemblati è costituito da un insieme ordinato di vertici connessi tra loro mediante la triangolazione associata alla nuvola di punti; per ogni *edge* viene poi calcolato un segmento approssimante. Per migliorare la completezza e controllare la correttezza del risultato si impiegano anche *edge* estratti da immagini orientate, riproiettati sulla triangolazione. Il campo di applicazione del metodo è quello di oggetti di tipo architettonico, con l'obiettivo di delineare la forma e gli elementi principali dell'oggetto. L'estrazione dal DSM è già stata applicata a dati reali; il metodo di integrazione delle immagini viene qui descritta e verificata su un esempio simulato.

Abstract

This paper describes the setting of an automatic method to extract *edges* from a Digital Surface Model created by means of photogrammetric technics or a laser scanner; at least one image of the object with known internal and external orientation parameters is required. Starting from a triangulated mesh, edges connecting vertices whose curvature values are local maxima are detected, gaps are closed along the edges and repeated vertices are deleted. A smoothed version of the edge is then computed. This method is turned to the architectural field of application and the aim is to automatically extract *edges* in a complete and correct way, in order to synthetically reconstruct shape and principal elements of the considered object and to obtain a useful database with geometrical information. The operations implemented in a new algorithm are described and tested on a case study object.

Introduzione

L'utilizzo di strumenti di acquisizione diretta di punti (*laserscanner*) e di tecniche fotogrammetriche per la creazione di Digital Surface Model (DSM) di oggetti sta conoscendo una rapida diffusione in numerosi campi. Entrambe le metodologie sono in grado di fornire come risultato una nuvola di punti e un set di immagini dell'oggetto: come noto le tecniche fotogrammetriche partono proprio da un set di immagini per ricostruire il modello 3D, mentre i *laserscanner* attualmente in uso sono generalmente dotati, oltre all'apparato di acquisizione della nuvola di punti, anche di una camera digitale integrata nello strumento o comunque di un supporto predisposto per ospitarne una esterna, che permetta di acquisire immagini dell'oggetto. L'acquisizione delle immagini in questo secondo caso è di norma semplicemente quella di associare l'informazione colorimetrica al DSM, ad esempio per la produzione di ortofoto o per la visualizzazione con programmi di grafica 3D.

Vantaggi e svantaggi delle due metodologie, specie nel rilievo architettonico, sono stati da tempo discussi ed affrontati in numerosissimi lavori (Boehler et al., 2002; Demir et al., 2004; Kadobayashi

et al, 2004); l'iniziale impressione di alcuni che l'ingresso del laser scanner rendesse obsoleta la fotogrammetria ha lasciato poi il posto ad una prevalenza di pareri che vedono i vantaggi dell'integrazione (Nex et al, 2011) e, comunque, la necessità di valutare caso per caso quale delle due tecnologie sia la più adatta (Habib et al., 2004; Grussenmeyer, 2008).

Da decenni l'elaborazione di immagini ha fra i suoi obiettivi anche il riconoscimento e la classificazione degli oggetti ripresi nella scena; col progresso delle tecniche di telerilevamento e la diffusione di sensori digitali tali obiettivi si sono focalizzati sull'estrazione di edifici, il riconoscimento di strade e, più di recente, la modellazione della vegetazione. Analogamente, proposte di automazione a vari livelli della restituzione nel settore architettonico vengono da qualche anno presentate. La varietà e complessità delle situazioni suggerisce che il percorso sarà certamente più lungo e forse limitato a parziali successi. L'esperienza sull'estrazione di edifici mostra tuttavia che la soluzione, anche nel campo architettonico, deve prendere in considerazione più sorgenti di informazioni e impiegare modelli (ad esempio di tipo parametrico) che consentano almeno una individuazione degli elementi principali (accessi, aperture, ecc.). Per una efficace applicazione di queste tecniche tuttavia resta fondamentale l'estrazione del dato primario, in particolare dei contorni. Per migliorarla, vari autori (Becker e Haala, 2007; Nex e Rinaudo, 2010; etc.) propongono appunto di integrare le informazioni derivanti dal modello 3D con quelle derivanti dalle immagini per ottenere informazioni più complete in termini di linee di rottura, ossia degli elementi fondamentali per ricostruire la forma di un oggetto.

1. Il metodo combinato DSM-immagini

Considerando che la complessità di una facciata può variare notevolmente da un oggetto all'altro, in funzione degli elementi strutturali e decorativi presenti, è importante definire caratteristiche salienti che possano accomunare le facciate e siano individuabili nel modello 3D e nelle immagini. Inoltre è necessario stabilire quale dato sia dominante nella procedura di estrazione delle linee di rottura. La scelta degli autori è ricaduta sugli spigoli che definiscono gli elementi e gli spazi, separando generalmente superfici più o meno piane. Per quanto riguarda il DSM, come già proposto da Beinat et al. (2007), tali spigoli possono essere considerati come insiemi di vertici 3D che presentano valori di curvatura maggiori rispetto ai vertici adiacenti. In particolare verrà qui considerata la curvatura principale. Tale concetto, afferente alla geometria differenziale, può essere illustrato considerando un generico punto P di una superficie differenziabile nello spazio euclideo R^3 : adesso sono infatti associate due curvature principali, che sono il massimo ed il minimo della curvatura di una curva contenuta nella superficie e passante per il punto P . Di conseguenza si avranno massimi locali della curvatura principale massima nel caso in cui i punti appartengano ad una porzione di massima convessità locale della superficie: in questo caso si parlerà di *edge* di cresta. Al contrario si avranno minimi locali della curvatura principale minima nel caso in cui i punti appartengano ad una porzione di massima concavità locale della superficie e in questo caso si parlerà di *edge* di gola. Per quanto riguarda invece le immagini, gli spigoli possono essere identificati in base all'informazione colorimetrica; in generale un *edge* sarà costituito da pixel caratterizzati da elevati valori del gradiente dei toni di grigio. Secondo Barrow e Tenenbaum (1981), e Lindeberg (2001), tale variazione può essere dovuta a varie cause, quali differenze di profondità, di orientazione delle superfici, variazione delle proprietà dei materiali o di illuminazione della scena. Pertanto, l'*edge* di un'immagine non necessariamente coincide con un *edge* fisico e quindi l'informazione evidenziata dall'estrazione di *edges* spesso mescola elementi utili e non. Per questo motivo gli autori hanno ritenuto opportuno utilizzare come informazione dominante la geometria 3D del DSM, mentre l'informazione derivante dall'immagine è considerata come strumento per aumentare il grado di completezza e in parte di correttezza dei risultati. In pratica la prima fase di estrazione utilizza solamente i vertici del DSM per estrarre gli *edges*, mentre nella seconda fase l'immagine viene utilizzata per colmare gli eventuali *gaps* tra *edges* che nella realtà sono uniti tra loro ma che, a causa di lacune nel modello 3D, quali aree a bassa densità di vertici o effetti di liscio, si presentano "spezzati" e non possono essere uniti mediante la sola informazione sulla curvatura principale. In

funzione delle caratteristiche dell'oggetto da rilevare occorre valutare quale tecnica possa fornire i risultati migliori in termine di precisione, accuratezza e completezza. Su superfici piane e che presentino tessitura omogenea il laser scanner terrestre può fornire risultati migliori rispetto alla fotogrammetria; tuttavia per l'impiego del metodo che gli autori propongono, come precedentemente affermato, l'interesse è rivolto non tanto alle parti piane, quanto invece agli spigoli. In particolare, per il buon funzionamento degli algoritmi di estrazione automatica di linee di rottura mediante le informazioni sulla curvatura principale, è fondamentale che la superficie in corrispondenza degli spigoli sia costituita da un numero sufficientemente elevato di punti, tale da garantire che la forma sia descritta in modo corretto e completo e che siano limitate le interruzioni nel percorso degli spigoli. Il passo di campionamento con il quale vengono acquisiti i punti dell'oggetto dovrebbe quindi rispettare il più possibile tali requisiti; poiché però non sempre questo si verifica, le immagini dell'oggetto possono davvero svolgere un ruolo importante nella fase di controllo e completamento dei risultati.

2. Estrazione delle linee di rottura dal DSM

2.1. Calcolo della curvatura principale massima e minima e definizione delle soglie

Gli algoritmi descritti in questo paragrafo sono stati scritti in linguaggio Matlab e il software che li contiene è stato denominato CurvaTool. Il file di input necessario al software è un file di testo che contiene le coordinate XYZ dei vertici della *mesh* e al termine di tale elenco riporta, per ogni triangolo della *mesh*, i numeri identificativi dei tre vertici che lo compongono. Per calcolare la curvatura principale massima e minima e le corrispondenti direzioni principali di curvatura di ogni punto della nuvola triangolata viene utilizzato il metodo proposto da Chen & Schmitt (1992) ed ampliato da Dong & Wang (2005). La curvatura principale massima, indicativa della convessità della superficie, permetterà di identificare gli *edge* di cresta, mentre quella minima, indicativa della concavità, permetterà di identificare gli *edge* di gola (Fig. 1). In valore assoluto una curvatura principale maggiore di 0 indica non planarità della superficie: nello specifico, si tratterà di convessità se la curvatura principale massima è positiva, concavità se la curvatura principale minima è negativa. Occorre però stabilire quale grado di convessità e concavità siano significativi e possano rappresentare *edge* da estrarre.

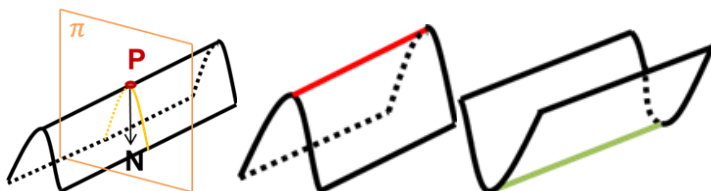


Figura 1 – a) definizione di curvature principale, b) *edge* di cresta (rosso), c) *edge* di gola (verde).

Tale operazione è svolta interattivamente dall'operatore assegnando le soglie *ThreshMax* (positiva) e *ThreshMin* (negativa) rispettivamente per la curvatura principale massima (*kmax*) e minima (*kmin*). L'operatore assegna le soglie con un'interfaccia grafica che consente di valutare visivamente mediante scale di colori la curvatura di ogni vertice e quindi se gli *edge* di interesse verranno estratti coi valori di soglia impostati. In genere la superficie di una *mesh* ottenuta da dati reali non contiene spigoli composti da vertici perfettamente allineati, perciò l'ampiezza della fascia di vertici che compone visivamente l'*edge* non è costante. La ricerca della soglia ottimale deve avere come obiettivo la riduzione dell'ampiezza di tale fascia. L'assegnazione della soglia *ThreshMax* considera *edge* di cresta solamente quei vertici con valori di curvatura principale massima maggiori. Viceversa sono *edge* di gola vertici i con valori di curvatura principale minima minori di *ThreshMin*. E' bene specificare che i due valori di soglia non devono necessariamente essere uguali tra loro in valore assoluto. La scelta dei valori di soglia influenza tutta la successiva applicazione del metodo.

2.2. Estrazione automatica degli *edge*

Il procedimento di estrazione automatica degli *edge* applica gli stessi algoritmi prima ai vertici $K_{max}T$, che hanno valori di curvatura principale massima maggiori della soglia, poi a quelli $K_{min}T$, che hanno valori di curvatura principale minima minori della soglia. Detti KT i vertici selezionati, per prima cosa si memorizzano tutti i triangoli a cui appartengono i vertici KT ; di ognuno di questi triangoli vengono identificati come lati significativi quelli che hanno per estremi due vertici di KT . In questo modo si memorizzano tutti i possibili lati di connessione tra i vertici di KT . Si opera poi la suddivisione dei lati in gruppi omogenei: ogni gruppo è composto da vertici che sono tra loro connessi mediante lati e che perciò potenzialmente appartengono ad uno stesso *edge*. Con il termine *edge* si intende un percorso che unisce vari vertici in modo univoco: partendo da un estremo si toccano tutti i vertici una sola volta fino ad arrivare all'altro estremo. In questa fase si arriverà alla creazione di *edge* a partire da gruppi di lati della triangolazione; quindi si dovranno scegliere i lati che compongono il percorso e scartare gli altri. Pertanto quando si parlerà di *edge* potenziale si intenderà non lo spigolo vero e proprio, ma l'insieme di tutti i lati tra cui scegliere il percorso (Fig. 2).

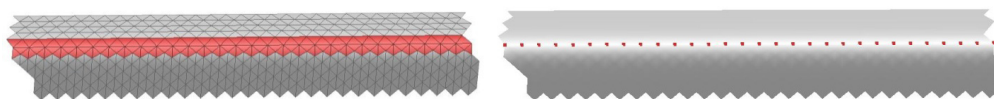


Figura 2 – Definizione di a) *edge* potenziale (fascia rossa), b) *edge* vero e proprio (sequenza di punti rossi).

A questo punto si effettua l'operazione di connessione vera e propria (*linking*) dei vertici per creare gli *edge*. Operativamente l'algoritmo parte dal vertice dell'*edge* potenziale col massimo (in valore assoluto) di curvatura. Identifichiamo questo vertice con A . Si considera ora la direzione principale t_A di curvatura di A (direzione principale minima se si stanno unendo punti di cresta, massima per i punti di gola): essa per definizione indica la direzione lungo la quale ci si aspetta che la curvatura continui ad avere un massimo locale, perciò è di fondamentale importanza in questa operazione di connessione. A questo punto si crea il piano passante per A e di normale pari a t_A . Il piano è funzionale all'operazione di unione dei punti poiché opera una separazione dell'*edge* potenziale in due settori, che si possono genericamente identificare come "settore positivo", contenente i punti nella direzione concorde a quella principale, e "settore negativo", che contiene i punti rimanenti. Poiché il punto A si trova in una posizione generica all'interno della linea potenziale, per effettuare l'operazione di *linking* si partirà da A procedendo prima nel settore positivo, poi, una volta esauriti i punti da unire, si tornerà ad A per procedere nel settore negativo (Fig. 3). I candidati tra i quali scegliere il vertice da connettere ad A sono tutti i vertici del settore positivo che appartengono al secondo anello di vicinanza di A . Esso è composto dai triangoli adiacenti ad A e dai triangoli adiacenti a tali triangoli: i vertici del secondo anello di vicinanza di A sono quelli che formano i triangoli così classificati.

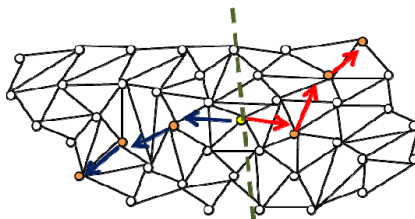


Figura 3 – Definizione di settore positivo e negativo.

E' bene specificare che la direzione principale di curvatura di un vertice in generale non punta verso un altro vertice. In questo algoritmo si è scelto di connettere solo vertici esistenti, senza crearne di

ausiliari. Pertanto è necessario valutare sia la direzione principale di curvatura sia il valore di curvatura: in particolare, si vuole massimizzare il valore di curvatura k e minimizzare l'angolo α compreso tra la direzione principale di A e il lato che collega A al vertice candidato. Pertanto il vertice B che verrà scelto per proseguire il percorso sarà quello con rapporto k/α massimo (Fig. 4).

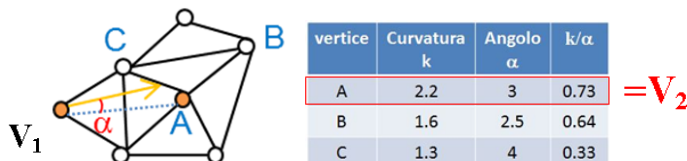


Figura 4 – Criterio di scelta del vertice successivo.

Creata il nuovo piano passante B e di normale pari a t_B , si eliminano dall'elenco dei vertici del settore positivo tutti quelli a distanza negativa da tale piano. Il processo di connessione nel settore positivo si ferma quando i vertici rimanenti tra cui scegliere sono in numero minore di una soglia fissata. Il processo nel settore negativo inizia solo se la numerosità dei suoi punti è maggiore di tale soglia ed è sostanzialmente identico, a parte il fatto che le direzioni principali vengono assunte di segno opposto a quelle reali. L'edge risultante, data la procedura di scelta all'interno del secondo anello di vicinanza, sarà costituito da un elenco ordinato di vertici, nel quale ogni vertice è connesso al precedente e al successivo da uno o al massimo due lati di triangoli (Fig. 5). Questa procedura viene ripetuta per tutti gli edge potenziali.

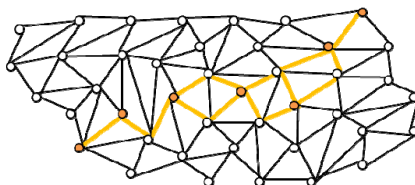


Figura 5 – Per passare tra un vertice dell'edge al successivo si percorrono al massimo due lati di triangoli.

2.3. Infittimento, raffinamento e connessione degli edge

E' stato creato un algoritmo per infittire l'edge inserendo un punto intermedio ogni volta che il percorso da un vertice al successivo nella linea è composto da più di un lato di triangolo (cioè in tutti i casi in cui il punto di connessione scelto durante il link appartiene all'anello di vicinanza del secondo ordine): presi due vertici successivi V_i e V_j dell'edge non direttamente connessi mediante un lato di triangolo, esso inserisce il vertice intermedio che giace sul percorso di minima distanza tra V_i e V_j . Successivamente si impiega un algoritmo per il raffinamento degli edge, cioè l'ottimizzazione del percorso di connessione dei vertici, con l'obiettivo di ridurre la "larghezza" dell'edge nella direzione perpendicolare a quella dell'edge stesso (Fig. 6).



Figura 6 – Procedura di infittimento e raffinamento degli edge.

Infine, si considera il primo edge estratto E_1 e si cerca nel secondo anello di vicinanza di ogni vertice di E_1 se siano presenti vertici di altri edge. Si connette poi E_1 ad ogni edge che abbia dato esito positivo. Si ripete tale procedimento per ognuno degli edge.

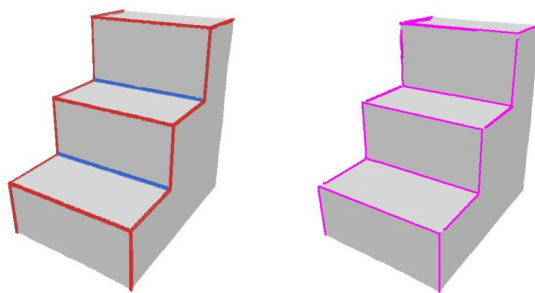


Figura 7 – Oggetto di prova (Scala): a) vertici appartenenti a potenziali edge di cresta (rosso) e di gola (blu), b) edge estratti.

3. Chiusura degli edge incompleti mediante immagini orientate

Come detto, è spesso necessario migliorare la completezza degli *edge* 3D individuati sulla *mesh*; in particolare, a causa di effetti locali di liscio della superficie o per effetto di un'errata triangolazione, è possibile che gli *edge* siano più corti degli spigoli reali, oppure che lungo uno spigolo si trovino più *edge* non connessi tra loro. Si possono a tale fine utilizzare una o più immagini dell'oggetto di cui si sta analizzando il DSM, purché i loro parametri di orientamento interno ed esterno siano noti in modo accurato e preciso. Le immagini vengono convertite da RGB a toni di grigio utilizzando i coefficienti dello standard NTCS ed elaborate con il filtro di Wallis per aumentare localmente il contrasto. Successivamente si utilizza il filtro di Canny (1986) per l'estrazione degli *edge* mediante la ricerca dei massimi locali del gradiente di I generando una matrice binaria. Al momento si considerano solo *edge* che possano essere descritti da un segmento di retta; ovviamente in questo modo molti *edge* vengono scartati, perciò ci si propone in futuro di rimuovere tale limite. Alla matrice binaria viene applicata la Trasformazione di Hough per l'estrazione delle rette, ottenendo le coordinate immagine dei pixel che compongono ogni segmento.

Nel caso di una facciata di un edificio, ossia di un oggetto assimilabile ad un piano, potrebbe essere sufficiente usare una sola immagine circa nadirale per ottenere i segmenti cercati, mentre per oggetti più complessi potrebbero essere necessarie più immagini scattate da diverse angolature; al momento la procedura impiega un'unica immagine.

Viene ora descritto in dettaglio l'algoritmo. Preliminarmente occorre fissare alcuni valori di soglia:

- T_{piano} = distanza massima di un vertice della *mesh* dal piano π affinché il vertice sia considerato.
- T_{cornice} = dimensione della cornice attorno al rettangolo formato dai vertici $M_1M_2P_1P_2$ (vedi oltre).
- T_{ransac} = soglia per considerare i vertici *inlier* durante la stima della retta interpolante
- T_{angolo} = angolo limite per considerare due *edge* appartenenti alla medesima retta 3D.

Inoltre occorre definire un piano che approssima il DSM nella zona da elaborare. Il procedimento per integrare le informazioni 2D derivanti dall'immagine con quelle 3D ricavate dalla *mesh* si compone delle seguenti fasi:

- 1) Si considera il primo segmento di retta individuato sull'immagine I ; di esso sono noti i pixel estremi v_1 e v_2 .
- 2) Si trasformano gli estremi v_1 e v_2 sull'immagine nei corrispondenti punti V_1 e V_2 dello spazio oggetto:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = R^T \begin{bmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} [1]$$

dove R è la matrice di rotazione da sistema di riferimento terreno a quello immagine, (x_0, y_0) sono le coordinate pixel del punto principale, c è la distanza focale e (X_0, Y_0, Z_0) sono le coordinate del centro di presa C .

- 3) Si stima il piano π passante per i due estremi V_1 e V_2 e per il centro di presa C dell'immagine (Fig. 8a).
- 4) Si stimano le due rette r_1 ed r_2 rispettivamente passanti per C e V_1 e per C e V_2 (Fig. 8a).
- 5) Sull'immagine il segmento considerato definisce un *range*, rappresentato dal rettangolo che ha per estremi della diagonale i due estremi del segmento v_1 e v_2 (Fig. 8b).

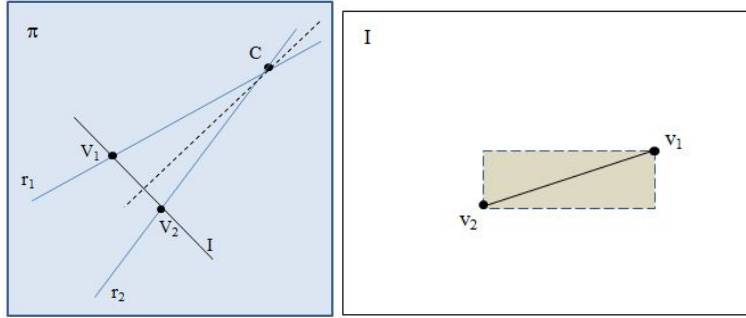


Figura 8 – a) stima del piano π ; b) definizione del range (in grigio) sull'immagine I .

- 6) Si cercano i vertici della *mesh* corrispondenti ai pixel appartenenti al segmento considerato. Questa operazione è particolarmente articolata a causa della impossibilità di individuare in modo univoco la relazione per passare dai pixel immagine ai vertici della *mesh*. Perciò occorre procedere restringendo via via il numero dei vertici della *mesh* associati ai pixel del segmento.
 - a. Si considerano i vertici della *mesh* che si trovano a distanza inferiore alla soglia T_{piano} dal piano π ; in questo modo si considera la striscia di vertici individuata dall'intersezione tra la *mesh* e il piano π . Tale striscia si estende lungo tutta la *mesh* ed ha ampiezza pari al massimo a $2 \cdot T_{\text{piano}}$.
 - b. Si riproiettano i vertici trovati al punto a. sull'immagine e si eliminano quelli che cadono al di fuori del range del segmento (calcolato al punto 5). In questo modo si limita l'estensione della striscia di vertici.

Per ognuno dei vertici v rimasti al punto b. si considera la retta r_1 e si calcola il valore

- c. del parametro t lungo i tre assi X, Y, Z con le relazioni ricavate dalla forma parametrica della retta:

$$t_x = \frac{X - X_0}{l} \quad t_y = \frac{Y - Y_0}{m} \quad t_z = \frac{Z - Z_0}{n} \quad [2]$$

Si individua l'asse coordinato lungo il quale è massima la variazione del parametro t : il minimo valore di t lungo questa direzione appartiene al vertice che identifico con M_1 . Si

ripete il procedimento considerando la retta r_2 : questa volta il massimo valore di t lungo a direzione di massima variazione appartiene al vertice che identifico con M_2 .

- d. Si considera il piano interpolante della mesh e si intersecano le due rette r_1 ed r_2 con tale piano, per trovare rispettivamente i punti P_1 e P_2 (Fig. 9a). Per ogni vertice v di quelli rimasti al punto b. si considera il triangolo V_1P_1v , di base V_1P_1 : l'altezza del triangolo rappresenta perciò la distanza del vertice v dalla retta r_1 . Lo stesso vale per il triangolo V_2P_2v , la cui altezza rappresenta la distanza del vertice v dalla retta r_2 . Tra tutti i vertici vengono scelti quello a distanza minore da r_1 e quello a distanza minore da r_2 , chiamati rispettivamente D_1 e D_2 (Fig. 9b).

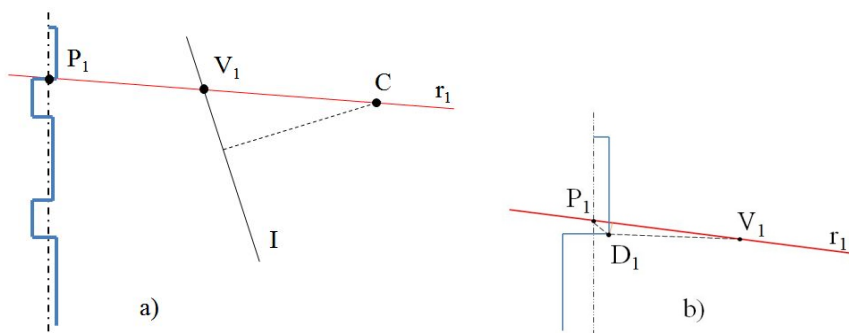


Figura 9 – a) intersezione della retta r_1 con il piano medio del DSM (in pianta);
b) definizione del punto D_1 (in pianta).

- e. Si eliminano i vertici che cadono al di fuori dall'area definita dai vertici $M_1M_2P_1P_2$, incrementata di una cornice di spessore T_{cornice} . Si ottiene così un gruppo di vertici che ben corrisponde, anche se non univocamente, ai pixel che formano il segmento considerato.

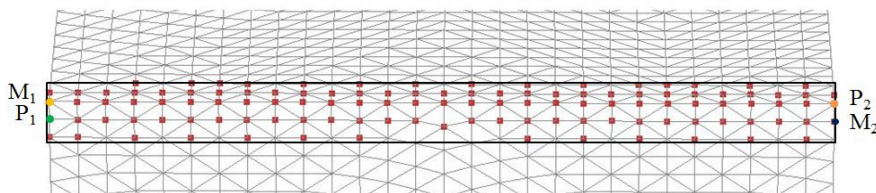


Figura 10 – Definizione (in nero) dell'area $M_1M_2P_1P_2$ incrementata di T_{spessore}

- 7) Con il metodo RANSAC si stima la retta interpolante i vertici ottenuti al punto e.; la soglia T_{ransac} viene utilizzata per definire i vertici *inlier* potenzialmente appartenenti alla retta.
- 8) Si crea il percorso di connessione dei vertici ottenuti al punto e., in modo che abbia la stessa struttura degli *edge* 3D estratti geometricamente. Il percorso parte quindi da un estremo e, muovendosi lungo la triangolazione, unisce i vertici appartenenti alla retta interpolante.
- 9) A questo punto si passa alla connessione di *edge* per colmare eventuali *gap*. Si confronta l'*edge* ricavato dall'immagine (Fig. 11a) con quelli estratti geometricamente che ricadono nelle sue vicinanze (Fig. 11b). Per far ciò, per prima cosa si considerano i vertici connessi al punto 8e i vertici nel loro anello di vicinanza di ordine 1; poi si verifica, per ogni *edge* geometrico, se tra

questi punti ci sia almeno 1 punto in comune con quellidell'*edge* ricavato dall'immagine. In caso affermativo, si calcola l'angolo tra le direzioni dei due *edge*; se l'angolo è minore o uguale a T_{angolo} vengono memorizzati in una matrice gli indici dei due *edge* da unire.

Il procedimento dal punto 1 al punto 9 viene ripetuto per ognuno dei segmenti di retta individuati sull'immagine. Infine, per ogni *edge* estratto geometricamente, si uniscono all'*edge* geometrico considerato tutti gli *edge* da immagine che hanno dato esito positivo per tale *edge* al punto 9 (Fig. 11c).

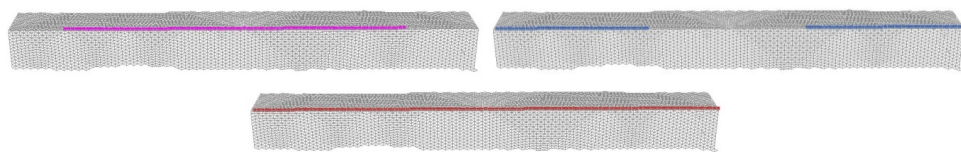


Figura 11 – Esempio di “riempimento” di un gap: a) *edge* ricavato dall'immagine, b) *edge* estratti da DSM che si trovano nelle vicinanze dell'*edge* ricavato dall'immagine, c) *edge* finale.

A questo punto per ogni nuovo *edge* assemblato si stima la retta interpolante come media tra le direzioni degli *edge* assemblati. I vertici appartenenti all'*edge* vengono ordinati lungo questa retta, operando un raffinamento ed eliminando i vertici ripetuti.

4. Test su oggetto sintetico

Per verificare la correttezza di funzionamento dell'implementazione del metodo in un caso ideale si è impiegato sempre l'oggetto sintetico costituito da 3 gradini ed il corrispondente DSM; si sono poi generate immagini dell'oggetto in ambiente virtuale. La prova è consistita in due fasi: nella prima gli *edge* del DSM sono stati estratti mediante i soli algoritmi basati sulla curvatura principale; dopodiché alcuni di questi *edge* sono stati spezzati, eliminando un certo numero di vertici dalla sequenza che compone ogni *edge*. A questo punto si è utilizzato l'algoritmo di estrazione di *edge* da immagini per colmare i gap creati. La figura 12 a) mostra l'oggetto generato, di tessitura uniforme, mentre la figura 12 b) mostra una delle immagini generate, dalla quale evidentemente sono rilevabili solo alcuni degli *edge*.

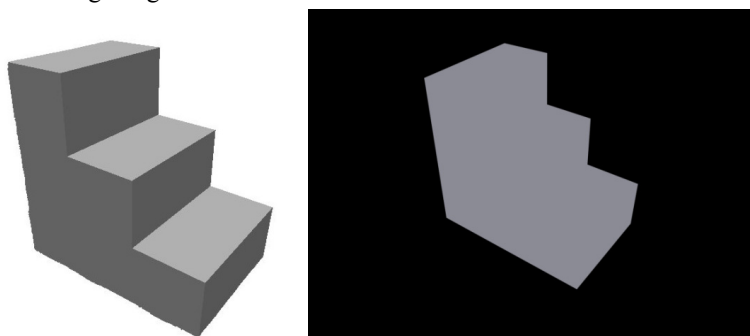


Figura 12 – a) DSM [116601 vertici], b) immagine utilizzata [1600x1200 pixel].

La figura 13 mostra i risultati dell'elaborazione; a sinistra vi sono gli *edge* rilevati direttamente dal DSM, già modificati inserendo delle interruzioni nella porzione dove sono presenti *edge* rilevati sull'immagine; al centro sono mostrati gli *edge* estratti con l'algoritmo di Canny; infine a destra si mostra la sovrapposizione dei risultati con la chiusura delle interruzioni. Le immagini e il DSM impiegato sono privi di noise, quindi (a parte il passo di discretizzazione del DSM e la

risoluzione dell'immagine) non sono presenti cause di disturbo. Anche i parametri interni ed esterni della camera sono privi di errore: si tratta come detto sostanzialmente di un test di funzionamento del programma.

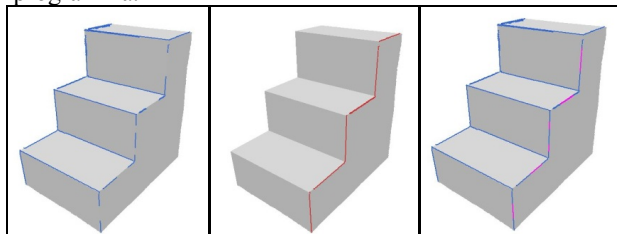


Figura 13 – a) rette estratte dal DSM con introduzione di gaps; b) rette estratte con trasformata di Hough; c) chiusura dei gaps dalla fusione delle informazioni DSM e immagine.

5. Conclusioni

L'estrazione da nuvole di punti rilevate su elementi architettonici di informazioni strutturate quali piante e sezioni è un obiettivo ambizioso ed assai articolato sul quale molti gruppi di ricerca stanno investendo. Il lavoro qui presentato, come evidente, è solo agli inizi, in particolare per quanto riguarda l'impiego delle immagini.

L'algoritmo di estrazione di contorni dal DSM è stato finora applicato sia a pareti rocciose sia a una serie di rilievi laser scanner su edifici; come già osservato, la correttezza e la completezza riscontrate dipendono fortemente dalla risoluzione del DSM. Dall'integrazione delle immagini nella procedura, al momento solo ad uno stadio di test di funzionamento, ci si attende un consistente miglioramento in molte situazioni. L'informazione dalle immagini è attualmente pensata come ancillare rispetto al DSM, che è ritenuto pertanto più affidabile; in futuro l'esperienza dirà se è più opportuno un ruolo paritario delle due sorgenti.

Quanto prima si intende passare dagli esempi sintetici a casi reali, per verificare la robustezza e l'utilità del metodo integrato nelle situazioni pratiche, vero banco di prova di ogni metodo.

Bibliografia

- Barrow H.G., Tenenbaum J.M. (1981). "Interpreting line drawings as three-dimensional surfaces", *Artificial Intelligence*, vol 17, issues 1-3, pages 75-116
- Becker, S., Haala, N. (2007). Combined feature extraction for façade reconstruction. In: *ISPRS Workshop on Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2007*, Espoo, September 12-14, 2007, Finland.
- Beinat, A., Crosilla, F., Visintini, D., Sepic, F. (2007). "Automatic non parametric procedures for terrestrial laser point clouds processing". *Proceedings of: PIA07 Photogrammetric Image Analysis*, Munich, Germany September 19-21, 2007
- Boehler, W., Heinz, G., Marbs, A., (2002). The potential of noncontact close range laser scanners for cultural heritage recording. In: *Int. Arch. of Photogrammetry Remote Sensing & Spatial Inform. Sciences*, Potsdam, Germany, Vol. XXXIV, Part 5/C7, pp. 430-436.
- Canny J. (1986). "A Computational Approach to Edge Detection," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. PAMI-8, No. 6, 1986, pp. 679-698.
- Chen X., Schmitt F. (1992). "Intrinsic Surface Properties from Surface Triangulation". *Proceedings of the European Conference on Computer Vision*, (p. 739-743).

Demir, N., Bayram, B., Alkþþ, Z., Helvacı, C., Çetin, I., Vögtle, T., Ringle, K., Steinle, E., 2004. Laser scanning for terrestrial photogrammetry, alternative system or combined with traditional system? XXth Congress of ISPRS, Istanbul 12-23 July 2004. Int. Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXV, part B5, pp.193-197.

Dong C., Wang G. (2005). "Curvatures estimation on triangular mesh". *Journal of Zhejiang University SCIENCE 6A(Suppl I)*, 128-136.

Grussenmeyer P., Landes T. , Voegtler T., Ringle K. (2008) Comparison methods of terrestrial laser scanning, photogrammetry and tacheometry data for recording of cultural heritage buildings. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B5. Beijing 2008, pp. 213-218.

Habib, A.F., Ghanma, M.S., Tait, M., (2004) "Integration of LiDAR and photogrammetry for close range applications," . XXth Congress of ISPRS, Istanbul 12-23 July 2004. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Technology and Spatial Information Sciences XXXV, part B5, 6 pp, CD-ROM..

Kadobayashi, R., Kochi, N., Otani, H., Furukawa, R, 2004. Comparison and evaluation of Laser scanning and photogrammetry and their combined use for digital recording of cultural heritage. XXth Congress of ISPRS, Istanbul 12-23 July 2004. Int. Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXV, part B5, pp.401-406.

Lindeberg T. (2001) . "Edge detection", in M. Hazewinkel (editor), Encyclopedia of Mathematics, Kluwer/Springer, ISBN 1402006098

Nex F., Rinaudo F. (2010). "Photogrammetric and LiDAR integration for the cultural heritage metric surveys". International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII, Part 5 Commission V Symposium, Newcastle upon Tyne, UK. 2010.

Nex, F., Remondino, F., Rinaudo, F., (2011). Integration of range and image data for building extraction. In: SPIE Optical Metrology conference, CD-ROM, Munich 2011.

Accesso geografico alle collezioni e alle opere d'arte lombarde

Sergio URBISCI (*), Marino DELFINO (**)

(*) Direzione Generale Cultura, Regione Lombardia, P.za Città di Lombardia, 20124 Milano

Tel. 02/6765.2655, E-mail: Sergio_Urbisci@regione.lombardia.it

(**) TAI S.a.s., Via Orombelli 11, 20131 Milano

Tel. 02/26681997, E-mail: tai.sas@tiscali.it

Riassunto

Regione Lombardia coglie l'occasione della partecipazione al progetto "MuseiD-Italia", promosso dal MiBAC nell'ambito del Piano e-gov 2012 e finalizzato alla creazione di un'anagrafe nazionale dei luoghi della cultura e alla diffusione sul Portale della Cultura italiana (www.culturaitalia.it) delle opere in essi contenuto, per rendere disponibili attraverso il Portale dei beni culturali della Lombardia (www.lombardiabeniculturali.it) l'accesso geografico alle più rilevanti collezioni di beni archeologici, ambientali, storico-artistico, scientifici, etno-antropologici grazie al collegamento con i luoghi della cultura che le ospitano.

Abstract

Regione Lombardia takes the opportunity of participating in the project "MuseiD-Italia", promoted by MiBAC under Plan E-gov 2012 and aimed at the creation of a register of places of culture and the dissemination on www.culturaitalia.it of the heritage there hosted, to make available on the portal of the cultural heritage of Lombardy (www.lombardiabeniculturali.it) the geographic access to the most significant collections of archaeological, environmental, historical, artistic, scientific, ethno-anthropological sites.

1. Introduzione

Regione Lombardia partecipa al progetto "MuseiD-Italia", promosso dal Ministero per i Beni e le Attività Culturali nell'ambito del Piano e-gov 2012 del Dipartimento per l'Innovazione e le Tecnologie del Ministero per la pubblica amministrazione e innovazione.

Il progetto, che coinvolge tutte le Regioni e le Soprintendenze italiane, è finalizzato alla creazione di un'anagrafe nazionale dei luoghi della cultura e alla digitalizzazione del patrimonio mobile (opere e collezioni) in essi contenuto, per la successiva pubblicazione sul Portale della Cultura italiana (www.culturaitalia.it) e su quello della cultura Europea (www.europeana.eu).

La D.G. Cultura di Regione Lombardia, che ha iniziato oltre vent'anni fa l'attività di catalogazione dei beni mobili e immobili del proprio patrimonio culturale secondo gli standard nazionali ICCD, coglie l'occasione per rendere disponibili attraverso il Portale dei beni culturali della Lombardia (www.lombardiabeniculturali.it) alcuni strumenti di ricerca su base territoriale delle informazioni relative al patrimonio culturale estesi anche alle più rilevanti collezioni di beni archeologici, ambientali, storico-artistico, scientifici, etno-antropologici ed alle opere che le compongono, grazie al collegamento con i luoghi della cultura che le ospitano.

Oltre che dal Portale, l'accesso al patrimonio mobile è reso possibile anche attraverso un visualizzatore geografico (www.cartografia.regione.lombardia.it/NadirViewer).

2. SIRBeC e LombardiaBeniCulturali.it

SIRBeC - Sistema Informativo Regionale Beni dei Culturali - è il sistema di catalogazione del patrimonio culturale mobile e immobile diffuso sul territorio regionale o conservato all'interno di musei, raccolte e altre istituzioni culturali. E' stato avviato da Regione Lombardia nel 1992 per realizzare uno strumento di conoscenza, di documentazione e di supporto alle decisioni in materia di tutela, conservazione e valorizzazione del Patrimonio culturale.

Fin dagli esordi sono stati coinvolti in SIRBeC i diversi enti proprietari o detentori dei beni culturali censiti. Questo sistema di catalogazione decentrata è alimentato da oltre 450 banche dati dislocate sul territorio e sviluppate direttamente dai soggetti che a vario titolo gestiscono il Patrimonio culturale ossia tutte le Province, i Comuni e le Comunità montane, la Consulta e le Diocesi lombarde, gli Enti Sanitari del Sistema regionale lombardo (Aziende Ospedaliere e Sanitarie) e infine oltre 200 soggetti tra Musei, raccolte, Università e altri istituti e fondazioni.

A partire dal 1998 SIRBeC si è allineato SIGEC - Sistema Informativo Generale del Catalogo - promosso dall'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione - ICCD che, nell'ambito delle attività e prerogative del Ministero per i Beni Culturali, ha il compito di promuovere e realizzare il catalogo unico dei beni culturali sul territorio nazionale. SIRBeC concorre pertanto, insieme alle Soprintendenze competenti e ai sistemi informativi di altre Regioni, alla realizzazione del Catalogo Unico nazionale.

Attualmente raccoglie informazioni strutturate, fotografie e documentazione relative a oltre 650.000 beni culturali mobili e immobili presenti sul territorio della Lombardia, in dettaglio:

- Architetture: 25.194 tra le quali complessi monumentali, edifici pubblici e di culto, edilizia rurale di interesse storico, dimore gentilizie, architetture fortificate, residenze private, fabbricati di archeologia industriale e inoltre 72 parchi e giardini.
- Opere d'arte: 283.586 tra dipinti, disegni, sculture, arredi di culto e suppellettili liturgica, mobili, tessuti.
- Fotografie: 220.654 supporti fotografici provenienti da fondi di interesse artistico, storico, documentario.
- Stampe d'arte: 59.686 stampe e matrici d'incisione di rilevanza storico-artistica.
- Reperti, siti e monumenti archeologici: 33.866 beni tra cui ceramiche, oreficeria, epigrafi, glittica, monete, vetri, armi, e 35 tra monumenti e complessi archeologici e 27 siti archeologici.
- Beni etno-antropologici: 35.142 beni tra i quali strumenti e attrezzi da lavoro, oggetti di uso domestico e personale, arte popolare, giocattoli.
- Patrimonio medico scientifico e tecnologico: 5.135 beni tra cui strumenti e macchinari, reperti, strumentari e preparati rilevanti per la storia della scienza, della tecnologia e della medicina.
- Beni naturalistici: 38.017 beni relativi a botanica, paleontologia, zoologia.

L'intero sistema di flussi informativi sul patrimonio culturale presente sul territorio confluisce in un ambiente web di pubblica fruizione, **LBC - LombardiaBeniCulturali.it**, che costituisce un portale di accesso integrato alle risorse culturali e ai luoghi della cultura della Lombardia. Sul portale è descritto e illustrato non solo il patrimonio d'arte ma anche quello storico-documentario e bibliotecario insieme agli istituti culturali in cui questi beni sono conservati ossia musei, archivi e biblioteche. Le informazioni vengono presentate a differenti livelli di approfondimento: all'interno di particolari format di valorizzazione - vetrine, percorsi e itinerari - realizzati su specifiche tipologie di beni e aree territoriali per un'ampia fruizione da parte del pubblico non specializzato come anche, ad un livello scientificamente più approfondito, dedicato a studiosi e professionisti. LBC ha una media mensile di oltre 100.000 contatti.

3. NaDIR Viewer

Benché riferito alle stesse architetture presenti nel sistema catalogafico (alfanumerico) di Regione Lombardia, il WebGis **NaDIR** (Navigatore geografico tra Dati e Informazioni sulle Risorse

culturali), nato in un periodo successivo, si è sviluppato in modo autonomo e parallelo da LBC; inoltre i due sistemi sono gestiti da enti differenti che utilizzano tecnologie diverse per il trattamento dei dati, pur condividendo il rispetto degli standard nazionali ed avendo come base la stessa banca dati (SIRBeC) nella quale sono presenti le schede delle architetture (edifici di interesse storico-artistico vincolati e non vincolati, musei, monumenti archeologici).

Avendo scelto di continuare a mantenere separati i due sistemi sia per le specifiche competenze di gestione tecnica e disciplinare richieste sia per renderne più liberi da vincoli operativi e funzionali i rispettivi futuri sviluppi, è stato perciò necessario realizzare a posteriori meccanismi di colloquio e sincronizzazione che rendessero possibile una navigazione integrata a partire da uno qualsiasi dei due sistemi web.

L'ultimo prodotto, e forse anche il più innovativo per funzionalità tecnologiche e semplicità d'uso, sviluppato a partire da NaDIR per consentire un accesso territoriale semplice alle informazioni sulle architetture è il **NaDIR Viewer** (cartografia.regione.lombardia.it/NadirViewer), un'interfaccia geografica che, mediante chiamate a pagine jsp e php che puntano ad uno stesso codice identificatore per ciascun edificio, integra tra di loro e rende facilmente accessibili le informazioni catalografiche e geografiche riferite allo stesso edificio presenti sul LBC e su NaDIR.

In particolare, a partire dall'edificio collocato sulla mappa, NaDIR Viewer consente sia il link alla relativa scheda descrittiva contenuta su LBC sia il link a NaDIR. Inoltre anche in LBC e NaDIR sono presenti i link per il percorso inverso

NaDIR Viewer consente tre modalità di visualizzazione degli edifici: lo stradario, la foto aerea e la visualizzazione ravvicinata prospettica, una modalità quest'ultima di grande utilità e di piacevole effetto che permette di osservare l'edificio da differenti prospettive e consente anche una navigazione tra gli edifici utile a mettere in luce sia le caratteristiche materiche e strutturali dei manufatti architettonici sia le relazioni che essi intrattengono con il contesto urbanistico e paesaggistico nel quale sono collocati.

4. Il progetto MuseiD-Italia

Il Ministero per i Beni e le Attività Culturali ha dato avvio al progetto "MuseiD-Italia" (<http://www.culturaitalia.it/pico/museiditalia/index.html>), finanziato nell'ambito del Piano e-gov 2012 del Dipartimento per l'Innovazione e le Tecnologie del Ministero per la pubblica amministrazione e innovazione, integrato con il Portale della Cultura italiana (www.culturaitalia.it).

In questo ambito il progetto di Regione Lombardia si pone i seguenti obiettivi:

- realizzare un'anagrafica dei musei, dei parchi e delle aree archeologiche, statali e non statali, della regione Lombardia.
- potenziare il proprio sistema informativo SIRBeC sia dal punto di vista dei contenuti che da quello della struttura, mediante un sistema di relazioni che mantenga i legami tra le diverse tipologie di beni che costituiscono il patrimonio culturale
- ampliare i contenuti del sito web Lombardiabeniculturali
- rendere disponibili, attraverso il caricamento nella Teca Digitale e la pubblicazione nell'area MuseiD-Italia integrata nel portale CulturaItalia, le risorse digitali relative ai beni culturali della Lombardia.
- attivare l'interoperabilità per lo scambio dei dati prodotti a livello regionale con il portale CulturaItalia
- estendere l'accesso geografico anche alle più rilevanti collezioni di beni mobili (archeologici, ambientali, storico-artistico, scientifici, etno-antropologici) ed alle opere che le compongono, grazie al collegamento con i luoghi della cultura che le ospitano.

5. Architettura del sistema utilizzato per la realizzazione del progetto

Dal punto di vista tecnico il progetto MuseiD-Italia è stato un'occasione per un'ulteriore evoluzione del SIRBeC che, per quanto riguarda il patrimonio culturale, costituisce il sistema informativo di

riferimento per Regione Lombardia. SIRBeC (Sistema Informativo Regionale dei Beni Culturali) è il sistema di catalogazione del patrimonio culturale lombardo diffuso sul territorio regionale o conservato all'interno di musei, raccolte e altre istituzioni culturali. E' stato avviato da Regione Lombardia nel 1992 per realizzare uno strumento di conoscenza, di documentazione e di supporto alle decisioni in materia di tutela, conservazione e valorizzazione del patrimonio culturale. Dal 1998 il sistema è stato allineato agli standard di catalogazione nazionali elaborati dall'Istituto Centrale per il Catalogo e la Documentazione (ICCD) che, nell'ambito delle attività e prerogative del Ministero per i Beni Culturali, ha il compito di promuovere e realizzare il catalogo unico dei beni culturali.

Nel corso del progetto sono stati sviluppati nuovi moduli del sistema che permettono di:

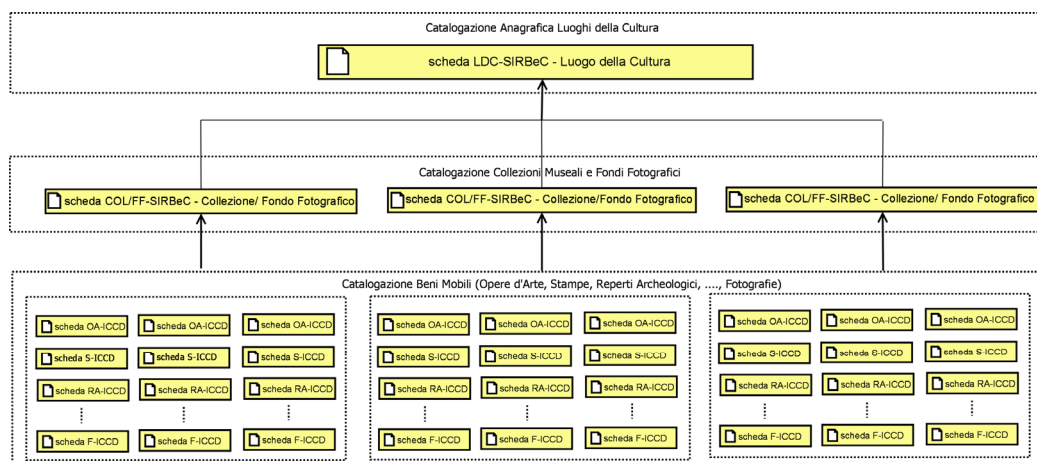
- coprire l'intera gamma delle diverse tipologie di bene culturale
- dare maggiore rilevanza all'integrazione tra il bene architettonico e il patrimonio storico-artistico in esso contenuto
- aumentare la capacità di dialogo con altri sistemi (la cosiddetta interoperabilità), aggiungendo alle funzioni da sempre presenti di importazione/esportazione secondo gli standard ICCD, la possibilità di produrre i dati secondo lo standard internazionale METS, come richiesto dalle specifiche del progetto.

Sulla base della struttura modulare del sistema SIRBeC si è provveduto a definire quali fossero le entità necessarie a soddisfare le esigenze del progetto. Si è così individuata una struttura a 3 livelli:

- livello 1: anagrafica dei luoghi della cultura
poiché SIRBeC non prevedeva una scheda descrittiva di tale tipologia di bene, è stata realizzata la scheda "LDC – Luoghi Della Cultura".
Si noti che nel seguito il termine "museo" è utilizzato come sinonimo di "luogo della cultura" anche se quest'ultima definizione ha un significato più ampio. Questa semplificazione è dovuta anche al fatto che per il progetto MuseiD-Italia Regione Lombardia ha scelto di prendere in considerazione solo le istituzioni museali.
- livello 2: scheda descrittiva delle collezioni contenute nei musei. Questo livello descrittivo veniva soddisfatto dalla scheda "COL – Collezione" e dalla scheda "FF – Fondo Fotografico" già previste in SIRBeC con un tracciato definito a livello regionale nei contenuti, ma conforme alle regole delle normative di catalogazione definite dall'ICCD.
- livello 3: scheda descrittiva degli oggetti contenuti nei musei ed appartenenti alle diverse collezioni; questo livello descrittivo veniva soddisfatto dalle schede standard di catalogazione dei beni mobili, per le quali il SIRBeC si attiene ai modelli proposti dall'ICCD.

I tre livelli descrittivi sono sempre collegati da una relazione di appartenenza. Come risulta evidente un museo prevede diverse collezioni ed ogni collezione è composta da un insieme di singoli oggetti. Dal punto di vista informatico le relazioni sono mantenute per mezzo di codici univoci associati ad ogni singola entità: in ogni scheda che descrive un oggetto viene registrato il codice della scheda della collezione a cui esso appartiene, mentre in ogni scheda che descrive una collezione viene registrato il codice della scheda del museo a cui essa appartiene. Questo schema di relazioni permette a qualsiasi sistema software per la consultazione dei dati (tipicamente siti Web come LBC e Nadir Viewer) una fruizione completa ed integrata, con ricerche che possono partire dal basso e risalire verso l'alto (rispondendo ad esempio alla domanda "dove si trova questa opera d'arte?") o viceversa, partendo ad esempio da una ricerca territoriale che può condurre poi per raffinamenti fino alla consultazione della singola opera.

Uno schema di questa organizzazione è rappresentato nella figura alla pagina seguente.



Indirizzi Web

lombardiabeniculturali.it

cartografia.regione.lombardia.it/NadirViewer

I due indirizzi sono inoltre raggiungibili da cultura.regione.lombardia.it, sito della Direzione Generale Cultura sul Portale istituzionale di Regione Lombardia

Monitoraggio integrato delle acque del lago Omodeo tramite analisi delle immagini MERIS e analisi limnologiche

Vascellari Micòl (*), Bresciani Mariano (**), Giardino Claudia (**),
Dessena Maria Antonietta (*), Paola Buscarinu (*)

(*) Ente Acque Sardegna (ENAS), Servizio Qualità dell'acqua erogata, Viale Elmas 116, Cagliari
Tel. 070/20165308; 340/8342537, e-mail: micol.vascellari@enas.sardegna.it
antonietta.dessena@enas.sardegna.it; paola.buscarinu@enas.sardegna.it
(**) CNR-IREA, Via Bassini 15, Milano, Tel. 02-23699298, Fax 02-236999300
e-mail: bresciani.m@irea.cnr.it; giardino.c@irea.cnr.it;

Sommario

Il lago Omodeo, ubicato nella Sardegna centrale, è il più grande invaso artificiale della Sardegna, le sue acque vengono erogate nel multisettoriale per soddisfare la richiesta nel settore irriguo, potabile e industriale. La qualità delle acque del lago Omodeo è stata monitorata negli anni con scarsa continuità, ma a seguito della L.R. 06.12.2006 n.19 la gestione dell'invaso è stata affidata all'Ente acque della Sardegna che attraverso il servizio "Qualità dell'acqua erogata" monitora periodicamente lo stato di salute di trentadue invasi artificiali sul territorio regionale effettuando le analisi sulla colonna d'acqua e sui sedimenti. Le indagini sulle acque svolte da ENAS, così come quelle eseguite ancora prima del 2007 dall'Università di Sassari, evidenziano come il lago artificiale si trovi in una condizione di elevata trofia con frequenti episodi di fioriture fitoplanctoniche, in particolare di fioriture di cianobatteri, che compromettono la qualità delle acque non solo dal punto di vista ecologico, ma anche gestionale.

I dati rilevati con la sonda multiparametrica e le campagne limnologiche hanno evidenziato come l'invaso presenti una condizione di elevata trofia manifestando frequenti episodi di fioriture algali, tra cui fioriture di cianobatteri, che compromettono la qualità dell'acqua non solo dal punto di vista ecologico, ma anche gestionale.

Il presente studio, finanziato nell'ambito di un percorso Master & Back della Regione Autonoma della Sardegna, svolto presso l'Ente acque della Sardegna con la collaborazione del CNR-IREA (Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico per l'Ambiente) di Milano, e con il supporto dell'ESA (Agenzia Spaziale Europea) che ha fornito le immagini satellitari, è finalizzato a testare una metodologia integrata di monitoraggio della qualità dei corpi idrici superficiali che si avvale, oltre che delle misure di campo (misure limnologiche tradizionali e misure automatiche con una sonda multiparametrica profilatrice della colonna d'acqua), anche di misure da remoto (dato iperspettrale sulla colonna d'acqua). Da diversi anni, infatti, le tecniche di telerilevamento satellitare rappresentano un valido strumento d'integrazione alle metodologie limnologiche tradizionali consentendo un'analisi delle dinamiche spaziali e temporali di alcuni parametri di qualità delle acque. Inoltre, soddisfano i dettami della direttiva 2000/60/CE, paragrafo 3 dell'articolo 8 che parla di "specifiche tecniche e metodi uniformi per analizzare e monitorare lo stato delle acque". L'Ente acque della Sardegna si sta adeguando in tal senso per disporre di uno strumento di gestione delle acque che in tempo reale possa fornire informazioni sui cambiamenti di concentrazione dei diversi parametri ottici all'interno della risorsa invasata.

All'interno del progetto CYAN-IsWas, l'integrazione alle misure limnologiche è stata effettuata con le tecniche di telerilevamento tramite l'analisi delle risposte spettrali delle acque utilizzando un data-set d'immagini satellitari MERIS FR degli anni 2009 e 2010. Le 20 immagini opportunamente corrette radiometricamente, è stata applicata una *SMILE-correction* che permette di correggere la

distorsione del valore registrato dal sensore dovuto allo spostamento di lunghezza d'onda a seconda della posizione del pixel (Fomferra e Brockmann, 2006) e sono stati corretti i disturbi per gli effetti di adiacenza con il tool ICOL (*Improved Contrast between Ocean and Land*) che possono influenzare la determinazione della riflettanza dell'acqua nei pixel vicino alla costa (Santer et al., 2007) e atmosfericamente con il software BEAM (*Basic Envisat e ERS (A) ATSR e MERIS*) hanno permesso di valutare le concentrazioni di clorofilla-a (chl-a) e la trasparenza delle acque che confrontate con i dati di campo, messe a disposizione dall'ufficio "Limnologia degli invasi" dell'ENAS, hanno mostrato una buona correlazione.

Nel dettaglio sono stati analizzati i differenti algoritmi del software BEAM (Doerffer e Schiller, 2008a, 2008b) e quello che ha risposto meglio al fine caratterizzare le proprietà ottiche delle acque del lago Omodeo e che ha permesso di ottenere i valori di concentrazione di chl-a più robusti è stato l'algoritmo "*Eutrophic*" solitamente utilizzato per range di chl-a compresi tra 1 e 120 [mg/m³].

L'analisi dei prodotti ha evidenziato le condizioni eutrofiche delle acque nel periodo estivo con una situazione di omogeneità nel lago.

Le mappe prodotte (es. Figura 1) si sono rivelate utili per approfondire la conoscenza sulla distribuzione spaziale e temporale nel corso dei vari anni all'interno dell'invaso integrando il dato puntuale acquisito tramite campionamento tradizionale. Le mappe sono state riversate in un GIS che ha permesso le opportune valutazioni sulle caratteristiche ecologiche dell'ecosistema, in particolare per la valutazione degli apporti organici all'interno del bacino idrografico di appartenenza.

Lo studio ha permesso di ritenere idoneo il sensore MERIS per la caratterizzazione delle proprietà ottiche del lago Omodeo e ha offerto l'ulteriore vantaggio di poter creare un apposito GIS in cui sono stati inseriti gli elementi territoriali utili per la valutazione delle dinamiche lacustri dovute all'interferenza delle attività antropiche esercitate nell'intorno dell'invaso e alla presenza dei due sbarramenti.

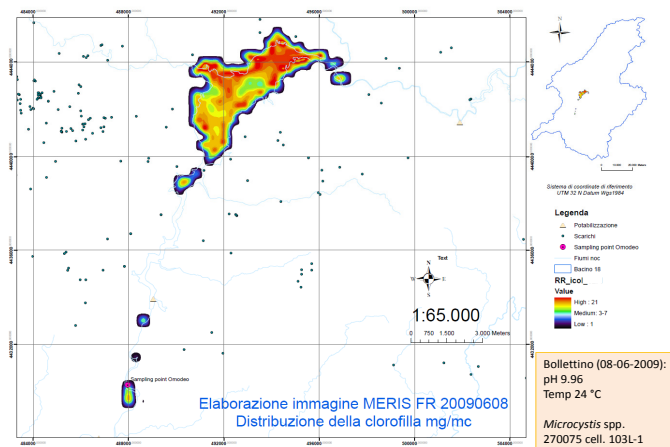


Figura 1 – Mappa della concentrazione di clorofilla-a prodotta dall'elaborazione dell'immagine MERIS del 08/06/2009 con associato il dato del bollettino di campo.

Riferimenti bibliografici

- Doerffer R, Schiller H. (2008a). MERIS Lake Water Algorithm for BEAM ATBD, v. 1.0. May.
 Doerffer R, Schiller H. (2008b). MERIS Regional Coastal and Lake Case 2 Water Project Atmospheric Correction ATBD, v. 1.0. May.
 Fomferra N, Brockmann C. (2006). "The BEAM project web page [Internet]. Carsten Brockmann Consult, Hamburg, Germany", Available from: <http://www.brockmann-consult.de/beam/>.
 Santer R, Zagolski F, Gilson M. (2007). Uni. du Littoral, France, ICOL ATBD, Version, 0.1, Feb.

Analisi di serie temporali di mappe di copertura nevosa ottenute da immagini Cosmo-SkyMed in aree alpine

B. Ventura (*), T. Schellenberger (*), C. Notarnicola (*), M. Zebisch (*)
V. Maddalena (**), L. Tampellini (**), R. Ratti (**)

(*) EURAC-Institute for Applied Remote Sensing, Viale Druso 1, Bolzano, Italia

(**) CGS-Compagnia Generale per lo Spazio, Via Gallarate 150, Milano, Italia

Riassunto

Questo lavoro presenta i risultati ottenuti nel progetto “SNOX- Snow cover and glacier monitoring in alpine areas with COSMO-SkyMed X-band data” finanziato dall’Agenzia Spaziale Italiana. I principali argomenti discussi in questo lavoro sono: lo sviluppo di una tecnica per la definizione della copertura nevosa e l’analisi della serie temporale delle mappe ottenute al fine di meglio comprendere quanto robusta è la metodologia identificata rispetto alla scelta delle immagini di riferimento ed i diversi valori di soglia utilizzati. Sono state elaborate immagini COSMO-SkyMed in modalità *Stripmap PingPong* e doppia polarizzazione duale VV-VH acquisite nel periodo 2010-2011 sull’area di test in Alto Adige. La metodologia per l’identificazione e il monitoraggio della copertura nevosa con le immagini COSMO-SkyMed si basa principalmente sulla differenza del segnale retrodiffuso dalla neve bagnata rispetto alla aree non ricoperte da neve o con neve asciutta. Le diverse tecniche di filtraggio usate per ridurre lo *speckle* e consentire una migliore distinzione fra le distribuzioni delle aree con neve e senza neve, indicano che il filtro FROST e il filtro Gamma DEMAP con una finestra 7x7 soddisfano tali requisiti. Successivamente sono state definite le soglie per il riconoscimento delle aree ricoperte da neve rispetto a quelle senza neve in base alla differenti classi di uso del suolo (ad es. rocce, suolo nudo e praterie alpine). L’utilizzo di differenti soglie determina una variazione della copertura nevosa identificabile tra il 2% e l’8% rispetto alla copertura nevosa ottenuta da immagini LANDSAT e considerate come riferimento durante l’analisi.

Abstract

This work presents the results carried out in the project “SNOX- Snow cover and glacier monitoring in alpine areas with COSMO-SkyMed X-band data” funded by the Italian Space Agency. The work addresses two main topics: the development of a snow cover mapping technique by using COSMO-SkyMed images and the analysis of the proposed methods with respect to the parameters used to define the presence of snow such as the reference image and chosen threshold snow/no snow.

Stripmap PingPong mode, dual polarizations VV-VH images have been acquired on the test site, located in South Tyrol (Northern Italy) from November 2010 to April-May 2011.

The methodology for identification and monitoring the snow cover area with COSMO-SkyMed images is mainly based on the difference in backscattering behavior between snow covered and snow free areas. Two aspects have been deeply investigated: the noise reduction and how to have more efficient snow detection. Frost and Gamma DEMAP filter at a filter size 7x7 show good results for a clearer distinction of distribution of backscattering coefficients for snow and no-snow areas.. Second, the thresholds for detection of snow and no-snow areas are defined based on different land-use classes (e.g. grassland and rocks). The use of different thresholds determines a variation of snow cover area (SCA) between 2% and 8% with respect to SCA obtained from LANDSAT images and considered as a reference in this study.

Introduzione

La conoscenza dell'estensione del manto nevoso e dello stato dei suoi costituenti (contenuto di acqua, dimensione dei grani) forniscono informazioni fondamentali in numerosi campi di applicazione come l'idrologia, la meteorologia, la prevenzione di disastri naturali (alluvioni e valanghe). A causa della rapidità con la quale le caratteristiche fisiche e morfologiche della neve possono evolvere, il telerilevamento rappresenta un strumento chiave per lo studio dei fenomeni correlati alle dinamiche del manto nevoso. In particolare, l'utilizzo di tecniche di telerilevamento radar mediante sensori SAR (*Synthetic Aperture Radar*) può rappresentare lo strumento necessario per tale obiettivo poiché supera una delle principali limitazioni dei sensori ottici: la copertura nuvolosa. Naturalmente, la possibilità di utilizzare le informazioni derivanti sia da immagini ottiche che SAR rappresenta un potente strumento per il monitoraggio della neve.

Negli ultimi anni numerose ricerche sono state condotte per l'utilizzo dei sensori SAR in banda C ($\lambda \sim 5\text{cm}$) (Nagler et al., 1998, Nagler, Rott, 2000, Malnes, Guneriusson, 2002) ai fini della mappatura della neve e basandosi sul rilevamento dei cambiamenti dello stato della neve (*change detection technique*) (Nagler, Rott, 2005). Si è mostrato che nel caso di immagini in banda C, tale metodologia produce risultati ampiamente variabili dallo stato della neve in particolare dal suo contenuto di acqua liquida. Scarsa presenza di acqua all'interno del manto nevoso o assenza (caso della "neve asciutta", *dry snow*) risulta in una debole interazione con il segnale elettromagnetico.

La costellazione *COSMO-SkyMed* (CSK), il più grande programma spaziale italiano dedicato all'osservazione della Terra, rappresenta una grande opportunità per poter ampliare le conoscenze relative alla risposta della neve nel campo delle microonde. Infatti, l'uso di una lunghezza d'onda più piccola, $\lambda = 3.12\text{ cm}$, parallelamente ad una alta risoluzione (fino ad 1 m) e ad una maggiore frequenza nei passaggi radar (8 giorni in modalità standard con costellazione completa), fornisce la possibilità di analizzare il problema del monitoraggio e la generazione di mappe della neve con una elevata risoluzione spaziale e con tempi di risposta rapidi. Inoltre, data la ridotta lunghezza d'onda, la banda X potrebbe essere più sensibile alle dimensioni dei costituenti del manto nevoso determinando quindi maggiori informazioni sui costituenti interni dello strato di neve.

Gli obiettivi della ricerca illustrata in questo lavoro sono:

- adattare gli algoritmi per il monitoraggio della neve con elevato contenuto di acqua liquida (*wet snow*) sviluppati per le immagini in banda C, al caso delle immagini in banda X utilizzando i dati COSMO-SkyMed acquisiti sull'area alpina dell'Alto Adige;
- effettuare uno studio di sensibilità dell'algoritmo rispetto ad alcuni dei suoi parametri chiave come la scelta delle immagini di riferimento e dei valori di soglia per la distinzione fra la presenza ed/o assenza di neve.

Nella prossima sezione verranno descritte le caratteristiche dell'area di test e dei dati CSK utilizzati; successivamente verranno presentate le tecniche utilizzate per ottenere le mappe della neve. Particolare attenzione verrà data alla fase di filtraggio effettuata in fase di pre-elaborazione della immagine e alla determinazione della conseguente soglia per l'identificazione delle aree neve/non neve. Nell'ultima sezione verranno illustrati e discussi i risultati ottenuti con la metodologia proposta.

Descrizione dell'area di studio e delle immagini CSK acquisite

L'area di test considerata per le attività di definizione dell'algoritmo per la mappatura della neve con dati CSK è localizzata in Val d'Ultimo (Alto Adige, Italia). La superficie dell'Alto Adige è di circa 7.400 km² con un'altezza minima di 190 m e massima di 3.890 m. L'area è coperta da neve per circa 2-3 mesi l'anno e l'altezza del manto nevoso può raggiungere i 3-5 m durante la stagione invernale alle quote più alte. Relativamente a questa area è disponibile inoltre una eccellente rete di misure nivometriche costituita da 8 stazioni automatiche che misurano altezza del manto nevoso e dati meteorologici, e 30 stazioni di osservazioni settimanali per diverse misure nivometriche. In particolare, la Val d'Ultimo è una valle d'alta montagna in cui è ubicato il ghiacciaio Weisbrunn Ferner, uno dei più intensivamente monitorati in Alto Adige. In tale area sono inoltre ubicati una

stazione di misurazione automatica della neve ed una stazione meteorologica. L'area di interesse è definita da un rettangolo con le seguenti coordinate geografiche: UL: lat 46.67472N, long. 10.76805; LR: lat. 46.44277N long. 11.08500E.

Sono state acquisite sull'area della Val d'Ultimo una serie temporale di immagini CSK in modalità Ping-Pong, doppia polarizzazione VV-VH con angolo di incidenza medio di 36.39°. Le immagini CSK sono state acquisite nell'intervallo di tempo che va da aprile 2010 ad aprile 2011 in modo tale da avere riferimenti relativi sia alla stagione invernale che a quella dello scioglimento della neve. Le immagini acquisite nel periodo estivo sono utilizzate per fornire un segnale di riferimento in assenza di copertura nevosa. I dettagli delle acquisizioni sono riportati in tabella 1.

Alcune campagne di misura sono state effettuate in contemporanea alle acquisizioni CSK in modo da raccogliere informazioni *in situ* dello stato delle neve con le misure dei seguenti parametri: densità della neve, umidità della neve, temperatura della neve, profondità della neve e rugosità superficiale.

<i>Data di acquisizione</i>	<i>Periodo di interesse</i>	<i>Geometria di acquisizione</i>
20.10-04-26	scioglimento	RA – PP 10
2010-04-27*	scioglimento	RA – PP 10
2010-09-01	estive	RA – PP 10
2010-09-02	estive	RA – PP 10
2010-09-17	estive	RA – PP 10
2010-11-28*	invernale	RA – PP 10
2010-12-23	invernale	RA – PP 10
2011-01-23*	invernale	RA – PP 10
2011-03-12	scioglimento	RA – PP 10
2011-04-05*	scioglimento	RA – PP 10

*Tabella 1 – Lista delle immagini COSMO-SkyMed acquisite. RA=Right Ascending; PP10 = Ping-Pong con beam 10. Tutte le immagini hanno doppia polarizzazione VV – VH. L'asterisco * indica le date in cui sono state condotte le campagne di misura.*

Algoritmo per la generazione delle mappe della neve

Lo sviluppo della metodologia per il monitoraggio della copertura nevosa è stato ottenuto adattando alle caratteristiche della banda X e alla maggiore risoluzione delle immagini CSK, la metodologia sviluppata da (Nagler Rott, 2000) per immagini SAR acquisite in banda C. Da un punto di visto elettromagnetico, in banda X l'interazione con la neve è regolata dallo stato della neve (Ulaby et al., 1986). Possono essere identificati due differenti stati della neve in base al contenuto di acqua liquida contenuto in essi, denominati come neve bagnata (*wet snow*) e neve asciutta (*dry snow*). La risposta elettromagnetica è differente nei due casi ed è regolata principalmente dalle proprietà dielettriche del mezzo. Quando la neve presenta un alto contenuto di acqua liquida, infatti, la differenza del valore della costante dielettrica all'interfaccia aria-neve è elevata e di conseguenza il valore del coefficiente di retrodiffusione misurato dal sensore è basso poiché è influenzato dai fenomeni dispersivi legati all'assorbimento negli strati superficiali piuttosto che al contributo volumetrico. Nel caso di neve asciutta il rapporto tra le costanti dielettriche aria-neve è vicino alla unità e, quindi, il segnale risulta essere più alto poiché diventano predominanti gli effetti della diffusione volumetrica degli strati sottostanti e soprattutto all'interfaccia con lo strato di suolo sottostante. Tale differenza nella risposta elettromagnetica della neve bagnata rispetto alle aree ricoperte da neve asciutta oppure in assenza di neve è alla base della metodologia sviluppata in questo lavoro come illustrato in figura 2. Queste considerazioni indicano anche una delle limitazioni del dato SAR nel monitoraggio della neve poiché con i sensori attuali solo la neve con notevole contenuto di acqua liquida è in grado di produrre variazioni significative nel segnale SAR.

Nella fase iniziale (*pre-processing*), le immagini CSK vengono elaborate mediante operazioni di *multilooking*, filtraggio, e geocodifica (contemporaneamente alla correzione radiometrica) con l'utilizzo del software SARscape® v. 4.2. L'operazione di filtraggio e l'analisi sui diversi filtri è utile al fine di meglio definire i valori di soglia che consentono di distinguere tra il contributo dovuto alla neve bagnata e quello imputabile al suolo con assenza di neve (o con presenza di neve asciutta). Lo scopo di tale analisi è di ridurre al minimo eventuali errori di classificazione quando si considera il rapporto tra le distribuzioni relative alle aree coperte da neve rispetto a quelle senza neve. I filtri di Frost, e Gamma DEMAP (*Distribution Entropy A Posteriori Mean*) con differenti dimensioni delle finestre sono stati applicati alle immagini CSK. La capacità da parte di un filtro di ridurre lo *speckle* può essere misurato confrontando l'*effective number of looks* ($enl = \text{media}/\text{varianza}$) prima e dopo il filtraggio.

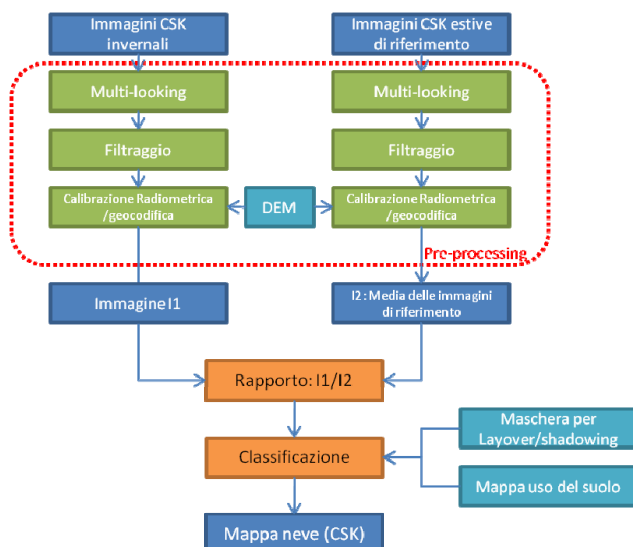


Figura 2 – Diagramma di flusso utilizzato per la determinazione delle mappe della neve con le immagini COSMO-SkyMed.

Filtri	Dimensione	enl (filter input)	enl (VH)	enl (VV)
Nessun filtro	-	-	0.76	1.03
Frost	5x5	1	2.56	4.27
Frost	7x7	1	2.81	4.76
Frost	9x9	1	2.86	4.90
Gamma DEMAP	5x5	1	2.40	4.18
Gamma DEMAP	7x7	1	2.40	4.34
Gamma DEMAP	9x9	1	2.39	4.38

Tabella 2 – Effetti dei differenti filtri utilizzati per ridurre lo *speckle* con indicazione delle dimensioni della finestra di filtraggio e del numero equivalente di look (*enl*).

Per ciascun filtro è stata inoltre analizzata la dipendenza dalla dimensione della finestra considerando i casi: 3x3, 5x5, 7x7 e 9x9 pixel. Nel caso della finestra di dimensione 7x7, il filtro Gamma DEMAP e il filtro Frost risultano essere caratterizzati non solo da una riduzione della varianza, ma anche da una minore influenza rispetto alla *texture*. La dipendenza della soglia dal tipo di filtro non è predominante poiché il filtraggio non ha molto influenza sul valore medio del coefficiente di retrodiffusione e sulla media del rapporto (figura 3), serve tuttavia a ridurre gli errori di classificazione in quanto riduce la dimensione delle code delle distribuzioni, proprio dove si presenta la sovrapposizione delle due distribuzioni. Considerando il filtro Gamma DEMAP sono state determinate soglie più basse (tabella 4) rispetto a quelle identificate nella banda C, normalmente pari a circa -3 dB. Le soglie ottenute sono relative a diverse coperture del suolo predominanti nell'area di interesse quali suolo nudo/roccia ed praterie alpine.

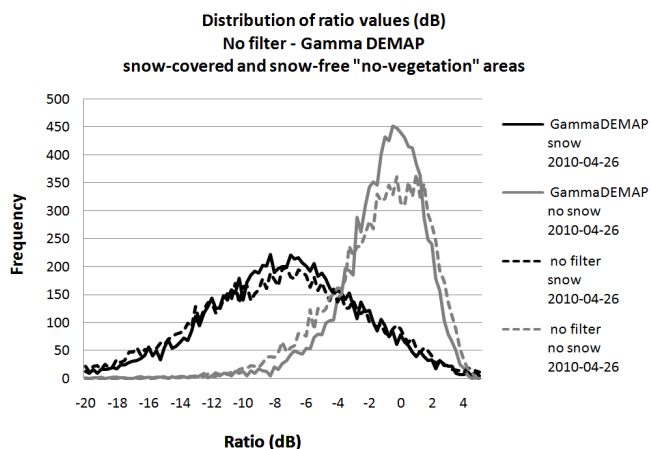


Figura 3 – Distribuzione del rapporto nel caso di aree ricoperte da neve oppure senza neve (snow-no snow areas).

Gamma DEMAP (7x7)	Praterie alpine	suolo nudo
VV	-2.3 dB	-2.2 dB
VH	-2.0 dB	-1.3 dB

Tabella 4 – Soglie ottenute a partire dal filtraggio Gamma DEMAP per la distinzione neve-non neve rispetto alla polarizzazione e al tipo di suolo.

Dopo aver ottenuto l'immagine geocodificata e corretta radiometricamente è stata calcolata l'immagine rapporto (con valori lineari dei coefficienti di backscattering) dividendo l'immagine acquisita durante il periodo invernale rispetto alla immagine estiva ovvero caratterizzata da assenza di copertura nevosa. Tutti i pixel aventi un valore al di sotto della soglia definita sono classificati come neve bagnata. La soglia r_0 è calcolata come segue:

$$r_0 = \sqrt{R_{\text{snow}} \cdot R_{\text{no-snow}}} \quad [1]$$

nell'ipotesi che le distribuzioni dei rapporti fra i coefficienti di backscattering in presenza ed assenza di neve abbiano la stessa probabilità a priori (Rignot et al. 1993). R_{snow} rappresenta la media della distribuzione del rapporto delle aree ricoperte da neve; $R_{\text{no-snow}}$ è invece relativo alle aree dove vi è assenza di neve. I valori di soglia che ne derivano si ottengono da una indagine statistica sulle diverse immagini a disposizione considerando diverse aree omogenee e tenendo anche in considerazione le diverse coperture del suolo. Il termine $R_{\text{no-snow}}$ è molto importante nel calcolo del

rapporto poiché rappresenta il rapporto tra aree nelle due acquisizioni differenti dove non vi è copertura nevosa. Ne deriva quindi che oltre alla tecnica di filtraggio usata e allo stato del suolo dell'area osservata, il valore di soglia dipende anche dalla immagine di riferimento. Per poter determinare quantitativamente tale dipendenza, si è analizzato sia il caso in cui come immagine di riferimento si è utilizzata la media delle tre immagini di Settembre 2010 (tabella 1) sia il caso in cui è stata considerata ciascuna singola immagine come riferimento.

Inoltre, poiché le distribuzioni delle aree neve e non-neve si sovrappongono parzialmente, la scelta del valore di soglia risulta essere un aspetto importante per l'analisi presentata. Per analizzare la dipendenza della SCA da r_0 sono state confrontate le mappe di copertura nevosa ottenute con $r_0 = -2.3$ dB, con quelle ottenute utilizzando il valore di soglia tipico per le immagini in banda C, $r_0 = -3.0$ dB ed anche ottenuto in analisi con i dati in banda X del sensore TERRASARX (Venkataraman et al., 2008).

Analisi e discussione dei risultati

Al fine di comprendere la capacità di individuare la presenza della neve da parte del sensore CSK, le mappe di copertura nevosa ottenute dalle immagini CSK sono state confrontate con mappe di copertura della neve derivanti da immagini ottiche LANDSAT 7 ETM+. Va sottolineato che i due strumenti sono sensibili a diversi aspetti della neve e che lavorando in due parti molto diverse dello spettro elettromagnetico individuano caratteristiche diverse del manto nevoso. Il confronto ha comunque il senso di indicare come si pone il dato SAR rispetto a quello ottico che viene normalmente utilizzato per questo monitoraggio e fino a che punto i risultati dei due tipi di sensori si possono integrare. Le immagini LANDSAT 7 ETM+ considerate hanno data di acquisizione vicine all'acquisizione CSK come indicato in tabella 5. Queste ultime sono state elaborate per ottenere le mappe della neve utilizzando l'algoritmo di classificazione sviluppato da Rastner et al. (Rastner, 2009)

<i>Sensore</i>	<i>data</i>
COSMO-SkyMed	26 Aprile 2010
LANDSAT 7 ETM+	20 Aprile 2010
COSMO-SkyMed	12 Marzo 2011
LANDSAT 7 ETM+	06 Marzo 2011
COSMO-SkyMed	05 Aprile 2011
LANDSAT 7 ETM+	07 Aprile 2011

Tabella 5 – Lista delle date di acquisizione per i sensori COSMO-SkyMed e LANDSAT 7 ETM+

E' importante notare che le immagini analizzate si riferiscono tutte al periodo di scioglimento della neve e, di conseguenza, la distanza tra le date di acquisizione potrebbe risultare un fattore determinante nel confronto delle mappe ottenute.

Il confronto tra le due mappe è stato effettuato mediante l'utilizzo della matrice di confusione (Schowengerdt, 1997) confrontando le classi: Neve e Non-Neve nelle due rispettive classificazioni. Per poter effettuare tale confronto le aree caratterizzate da effetti di *layover*, *shadowing* per le immagini CSK e con copertura nuvolosa per le immagini LANDSAT sono state mascherate. I risultati di tale confronto sono indicati nella tabella 6 e in figura 7.

L'utilizzo della soglia di -2.3 dB e -3.0 dB comporta una differenza nella SCA variabile da 2 a 6% nella classe "neve" e da 1 a 4% nella classe "no-neve". Si nota nella matrice di confusione il valore alto dell'errore di omissione del dato SAR rispetto a quello ottico variabile da 38 a 49%, osservabile anche in figura 7. Le differenze tra le mappe CSK e LANDSAT possono inoltre essere legate alla differente data di acquisizione, differente geometria di acquisizione, differente sensibilità rispetto

allo stato della neve e inaccuratezza nella geocodifica. La sovrastima della copertura nevosa da parte del dato LANDSAT rispetto al dato SAR è stata osservata in altri lavori analoghi (Nagler, 2000).

	NEVE - LANDSAT	NO NEVE - LANDSAT
<u>26 Aprile 2010</u>	%	%
NEVE - CSK	57.7 63.7	2.3 3.0
NO NEVE - CSK	42.3 36.3	93.6 97.1
<u>12 Marzo 2011</u>	%	%
NEVE - CSK	51.4 53.0	2.5 2.4
NO NEVE - CSK	48.6 46.9	97.5 97.6
<u>05 Aprile 2011</u>	%	%
NEVE - CSK	72.1 70.4	6.4 6.3
NO NEVE - CSK	27.9 29.6	93.6 93.7

Tabella 6 – Matrici di confusione del confronto tra le SCA ottenute da COSMO-SkyMed (CSK) e da LANDSAT 7 ETM+ utilizzando i valori di soglia $r_0 = -2.3$ dB e $r_0 = -3.0$ dB (in corsivo). Le percentuali sono considerate rispetto all'area totale delle classi neve e no-neve dell'immagine Landsat. In questa tabella di considera come immagine di riferimento SAR quella ottenuta come media delle 3 acquisizioni estive.

La scelta della immagine di riferimento risulta avere un considerevole effetto sul valore di soglia utilizzato (Luoju, 2009) e, quindi, anche sul risultato della classificazione. L'uso della soglia $r_0 = -2.3$ dB è stato ottenuto sia utilizzando come immagine di riferimento la media delle tre immagini di Settembre sia l'immagine del 17 Settembre. Quando si considerano separatamente le immagini del 1 e 2 Settembre il valore di r_0 assume rispettivamente valore -1.7 dB e -1.6 dB. Al variare di r_0 si nota una variazione della SCA fino al 6% utilizzando questi valori di soglia. Se invece si considera il valore di soglia $r_0 = -3.0$ dB (applicata sulle classi suolo nudo e praterie alpine) si trovano differenze fino al 12% per la SCA, sempre rispetto alla SCA LANDSAT usata come riferimento.

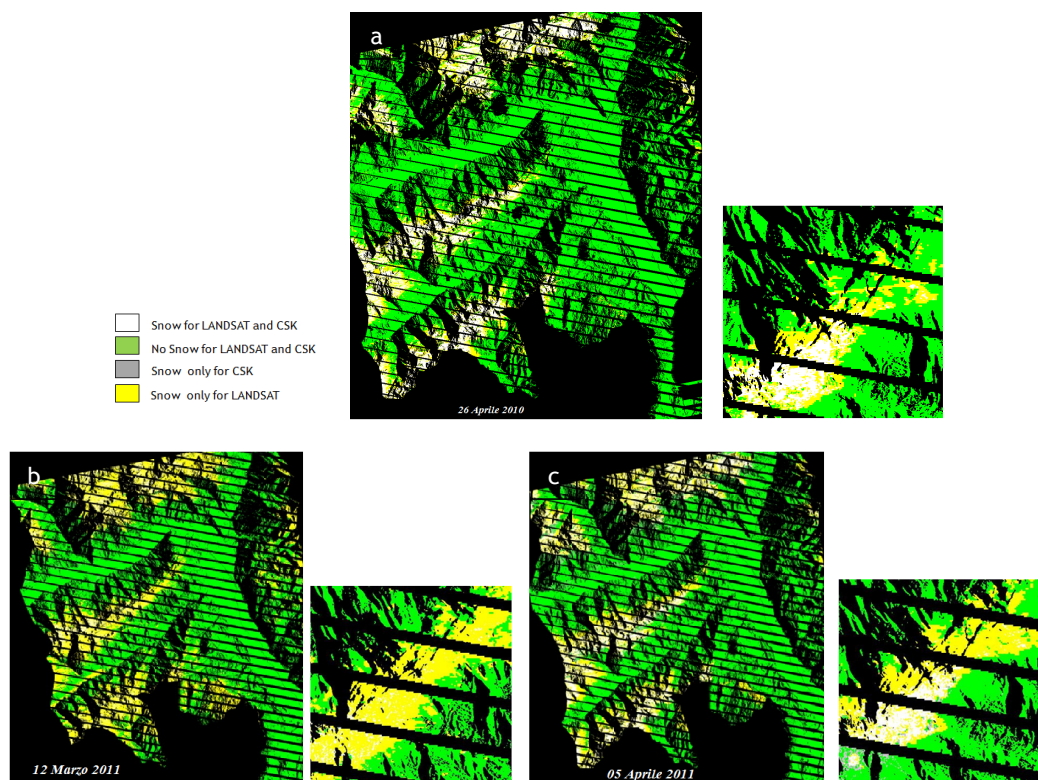


Figura 7 – Confronto delle SCA ottenute dalle immagini CSK e LANDSAT per le date del 26 Aprile 2010 (a), 12 Marzo 2011(b) e 05 Aprile 2011 (c). (COSMO-SkyMed -ASI ©- All rights reserved).

SCA (%)	r_0 (dB)	Ref. image
60.0	-3.0	01-02-17 Sept 2010 (media)
51.5	-3.0	01 Sept 2010
55.5	-3.0	02 Sept2010
63.0	-3.0	17 Sept 2010
65.9	-2.3	01-02-17 Sept 2010 (media)
61.8	-1.7	01 Sept 2010
66.1	-1.6	02 Sept2010
68.2	-2.3	17 Sept 2010

Tabella 6 – Analisi della dipendenza della SCA dal valore di soglia r_0 in dipendenza di diverse immagini di riferimento.

Conclusioni

In questo lavoro è stata analizzata la possibilità di distinguere aree ricoperte da neve bagnata rispetto ad aree con assenza di neve mediante l'uso dei dati COSMO-SkyMed.

E' stato effettuato uno studio sulle differenti tecniche di filtraggio per individuare quale potesse garantire una migliore distinzione tra le distribuzioni dei coefficienti di retrodiffusione per le aree ricoperte da neve rispetto alle aree senza copertura nevosa. Utilizzando una finestra di dimensione 7x7 sia il filtro Gamma DEMAP che il filtro FROST garantiscono una migliore distinzione delle due aree e una minore influenza sulla variabilità locale del segnale. La dipendenza della SCA dalla soglia è stata inoltre analizzata considerando una soglia di -2.3 dB rispetto ad una soglia di -3.0 dB, una variazione della SCA fino al 6% rispetto ad una SCA ottenuta da immagine LANDSAT usata come riferimento. Il valore di soglia utilizzato risulta essere dipendente anche dalla immagine estiva usata come riferimento. Se si considera la media delle immagini di riferimento il valore di soglia, che fornisce la migliore distinzione delle classi neve-non neve, risulta essere $r_0 = -2.3$ dB. Nel caso in cui si utilizzi una singola immagine la soglia può arrivare a -1.6/-1.7 dB. Considerata questa ampia variabilità per il valore di r_0 , è preferibile utilizzare una media delle immagini di riferimento così da poter ottenere una immagine che dovrebbe rappresentare un andamento medio delle condizioni al suolo durante il periodo estivo. L'analisi effettuata in questo lavoro verrà estesa sull'area del Brennero dove sono state acquisite immagini con differente geometria (*Right Descending*, e angolo di incidenza medio pari a 37.73°) e differente ora di acquisizione (acquisizione intorno alle 17.20) in modo tale da identificare altri aspetti del manto nevoso e meglio identificare potenzialità e svantaggi della metodologia descritta. Verranno inoltre analizzate le immagini dell'intero periodo invernale acquisite da Novembre a Maggio.

Il lavoro è stato svolto nell'ambito del contratto n. I/048/09/0 finanziato dall'Agenzia Spaziale Italiana.

Bibliografia

- Luoju K., Pulliainen J. and Metsamaki S. (2009), "Evaluation of the single Reference Image Snow-Covered Area Estimation Method for the Boreal Forest Zone", *Proc IGARSS'09*, pp. 867-870.
- Malnes E., Guneriusson, T. (2002), "Mapping of snow covered area with Radarsat in Norway", *Proc. IGARSS'02*, Toronto, Canada, 24-28 June.
- Nagler T., Rott, H. (2000), "Retrieval of wet snow by means of multitemporal SAR data", *IEEE Trans. Geosc. Rem. Sens.*, Vol. 38(2), 754-765.
- Nagler, T. and Rott H. (2000), "Retrieval of Wet Snow by Means of Multitemporal SAR Data", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, Vol. 38, No. 2.
- Nagler, T. and H. Rott (2005), "Snow classification algorithm for Envisat ASAR", *Proc. of the 2004 Envisat & ERS Symposium, ESA SP-572*.
- Nagler, T., Rott, H., Glendinning, G., (1998), "Snowmelt modelling using Radarsat data", *Proc. of ADRO final symposium*, Montreal.
- Rastner, P., Irsara L., Schellenger T., Della Chiesa S., Bertoldi G., Endrizzi S., Notarnicola C., Steurer C., Zebisch M. (2009), "Snow cover monitoring and modeling in the Alps using multi temporal MODIS data", *International Snow Science Workshop -Davos, Switzerland*.
- Rignot, E e Van Zyl, J. (1993), "Change detection techniques for ESR-1 SAR data", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing* 31, 4 (1993), 896-906.
- Schowengerdt R. A. (1997), *Remote Sensing: models and method for image processing*, 310-323, Academic Press, San Diego, CA.
- Ulaby F. T., Moore, R. K., Fung, A. K. (1986). *Microwave remote sensing*, vol.3, Dedham, MA: Artech House.
- Venkataraman, G., Singh, G. and V. Kumar (2008), "Snow cover area monitoring using multi-temporal TerraSAR-X data", 3rd TerraSAR-X Science Team Meeting 25/26 November 2008, DLR – Oberpfaffenhofen.

Irrigazione di mais da granella a rateo variabile mediante mappe indice di stress idrico da acquisizioni SPOT HRG

Massimo Vincini, Ermes Frazzi, Ferdinando Calegari

CRAST, Centro Ricerca Analisi Spaziale e Telerilevamento, Università Cattolica del Sacro Cuore
Via Emilia Parmense 84, 29100 Piacenza, massimo.vincini@unicatt.it,
ermes.frazzi@unicatt.it, ferdinando.calegari@unicatt.it

Riassunto

In una prova di irrigazione a rateo variabile (VRI), svolta su mais nel 2008 presso l'azienda sperimentale Tadini (Piacenza), è stata ottenuta una mappa di Riserva Idrica Utile (RIU) dell'appezzamento a partire dall'elaborazione dell'indice MSI (*Moisture Stress Index*) ottenuta da un'acquisizione SPOT HRG del 2005 mediante l'integrazione con misure georeferenziate della tensione dell'acqua nel terreno e della tessitura in alcuni punti dell'appezzamento. Sulla base dei valori di restituzione idrica sono stati calcolati due bilanci idrici, al netto di eventuali precipitazioni, per i due valori estremi di riserva idrica utile stimati con turni e volumi che assicurassero il mantenimento di un minimo attorno al 20% della riserva idrica utilizzabile ed il non superamento della capacità di campo ad tutte le condizioni di riserva idrica. Le mappe di prescrizione irrigua a rateo variabile sono state ottenute da una interpolazione lineare, sulla base spaziale della mappa di riserva idrica stimata, della delle due dosi irrigue attribuite per le posizioni a massima e minima riserva stimata in ciascun turno irriguo. Il turno è stato stabilito sulle aree a minor riserva idrica. L'irrigazione VRI è stata realizzata mediante un irrigatore per aspersione sviluppato dalla ditta Casella in grado di modificare velocità di recupero e velocità angolare del getto in funzione della posizione GPS. A parità di volumi irrigui per ogni singolo turno la resa produttiva nella parte di appezzamento irrigato in maniera variabile è stata del 20% in più rispetto alla parte irrigata con rateo costante.

Abstract

An open field Variable Rate Irrigation (VRI) experiment was carried out on corn at the Vittorio Tadini experimental farm (Piacenza, Italy) on 2008. An Available Water Capacity (AWC) map of the experimental field was estimated using geo-referred measures of soil texture and water potential and using a MSI (*Moisture Stress Index*) map obtained from a SPOT HRG corn reflectance data collected on 2005 over the same field. Two irrigation water balances, based on standard local crop water requirements for each crop stage and rainfall, were calculated during the growing season for the two estimated extreme AWC values in the field. Variable rate irrigation prescription maps, aimed to maintain a minimum of 20% of AWC and to avoid to exceed the Field Capacity (FC) for each location in the field, were calculated by spatial linear interpolation based on the estimated AWC map of the two irrigation rates assigned for each irrigation turn to maximum and minimum AWC locations. Irrigation turns were set according to estimated minimum AWC depletion (i.e. aimed to maintain a minimum of 20% of AWC in locations with smallest AWC. VRI was carried out in part of the field by GPS-driven traveling sprinkler varying travel speed and gun angular speed to achieve desired rate within management zones, whereas in the other part of the field irrigation was carried out with constant rates corresponding to the spatial average of the VRI area (i.e. the same amounts of water were given to VRI and test –constant rate– areas in each irrigation turn). Grain production of VRI-irrigated corn outperformed that of test area by 20%.

Introduzione

Mediante l'utilizzo integrato delle mappe indice di vegetazione telerilevate e dei risultati dei controlli al suolo è possibile produrre mappe di prescrizione degli input (fertilizzanti, acqua irrigua) a rateo variabile in agricoltura di precisione ottimizzate rispetto ai fabbisogni delle singole posizioni dell'appezzamento. Nelle operazioni di irrigazione a rateo variabile lo stato di stress idrico della coltura può essere caratterizzato mediante dati telerivati ad alta risoluzione spettrale nel visibile-infrarosso vicino con indici di efficienza fotosintetica istantanea quali quelli basati sulla fluorescenza, mediante dati multi-spettrali nell'infrarosso medio (SWIR) caratterizzanti la quantità di acqua liquida contenuta nella vegetazione o, mediante termocamere aerotrasportate, nel termico (TIR) mediante la stima della temperatura della vegetazione (stress idrico istantaneo). Con questi approcci la mappa di prescrizione della dose irrigua a rateo variabile può essere prodotta a partire da acquisizioni della riflettanza o emissione nel termico della coltura di cui si vuole ottenere la dose variabile per la successiva irrigazione, ed in questo caso necessita di un grado di tempestività nella fornitura ed elaborazione del dato telerilevato non ancora praticamente disponibile a livello applicativo, oppure le mappe di stress idrico, anche multi-temporali, possono essere utilizzate per inferire mappe di "fabbisogno" diversificato nell'ambito dei singoli appezzamenti da usarsi magari nella successiva stagione colturale. Gli indici di status idrico delle colture che utilizzano la riflettanza di bande SWIR, da lungo tempo disponibile con risoluzioni spaziali adeguate nei dati multi-spettrali satellitari, sono basati sull'assorbimento della radiazione a queste lunghezze d'onda da parte dell'acqua liquida presente nella vegetazione. Tali indici sono stati basati su rapporti tra bande le bande SWIR e NIR di Landsat TM (Gao, 1996) o SPOT (Ceccato et al., 2002a, 2002b) e si sono dimostrati sensibili alla quantità totale di acqua liquida contenuta nella vegetazione presente e non al tenore di umidità della medesima. Il presente lavoro descrive una prova di irrigazione a rateo variabile svolta su mais condotta mediante la stima di una mappa di riserva idrica utile dell'appezzamento a partire dall'elaborazione dell'indice MSI (*Moisture Stress Index*) ottenuta da un'acquisizione SPOT HRG del 2005.

Materiali e metodi

In una prova di irrigazione per asperzione a rateo variabile, svolta su mais nel 2008 presso l'azienda sperimentale Tadini (Piacenza) mediante irrigatori per asperzione a tecnologia VRI, è stata ottenuta una mappa di riserva idrica utile dell'appezzamento a partire dall'elaborazione dell'indice MSI (*Moisture Stress Index*) ottenuto da un'acquisizione SPOT HRG del 2005 mediante l'integrazione con misure georeferenziate della tensione dell'acqua nel terreno e della tessitura in alcuni punti dell'appezzamento. Ai fini di calibrare i bilanci idrico stimati alle reali condizioni del terreno in sei punti georeferenzati nell'appezzamento sono state interrate a 30 cm di profondità delle sonde Watermark® per la misura del potenziale idrico nel terreno.

L'indice di status idrico utilizzato è stato il *Moisture Stress Index* (Miller et al., 1990) ovvero il rapporto tra la riflettanza della coltura tra le bande dell'infrarosso medio (SWIR) e quelle dell'infrarosso vicino (NIR).

$$MSI = \frac{\rho_{SWIR}}{\rho_{NIR}} \quad [1]$$

L'indice aumenta al diminuire dell'acqua liquida contenuta nella vegetazione per area di coltura e si può quindi configurare come un indice di stress idrico. Come accennato precedentemente, gli indici basti sul contrasto delle bande dell'infrarosso medio e vicino si sono dimostrati sensibili alla quantità totale di acqua liquida contenuta nella vegetazione più che al tenore di umidità della medesima, per cui occorre, nella loro utilizzazione per la mappatura dello status idrico delle colture, tenere in considerazioni eventuali marcate differenze di biomassa nelle diverse zone dell'appezzamento.

La mappa-indice MSI dell'appezzamento, riportata in Figura 1, è stata ricavata dall'acquisizione, ancora su mais, del sensore SPOT HRG2 del 16 luglio 2005 (bande spettrali NIR tra 0.79 e 0.89 μm e SWIR tra 1.58 e 1.75 μm). Tale acquisizione è stata raccolta a distanza da eventi piovosi o irrigazioni.

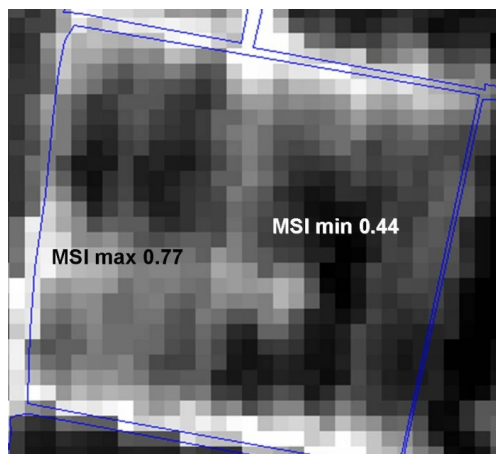


Figura 1 – Indice MSI ottenuto dall'acquisizione SPOT HRG2 del 16 luglio 2005 (valori crescenti di stress idrico stimato dal nero- MSI=.44- al bianco - MSI=.77).

Le condizioni di variabilità dell'indice di stress idrico descritte dall'acquisizione SPOT per l'appezzamento scelto dell'azienda sperimentale V. Tadini sono dovute ad effettive eterogeneità tessiturali (caso tipico di utilizzo delle immagini di stress idrico da telerilevamento) e tendono quindi a ripetersi nelle diverse stagioni vegetative. Un'indagine mirata a determinarne le cause ha riscontrato come tratto distintivo della zona a più alto stress una marcata presenza di scheletro rimescolato in tutto lo strato attivo e come strato ghiaioso al di sotto di esso (Figura 2). Tale osservazione sembra indicare, unitamente ai valori dei parametri analitici del terreno, che le basse rese in quella zona sono probabilmente dovute a stress idrico e probabili concomitanti carenze nutrizionali dovute ai bassi, localmente molto bassi, tenori di sostanza organica riscontrati nel terreno dell'appezzamento. La presenza della zona ghiaiosa, non fedelmente descritta dalle analisi tessiturali, ma individuabile nelle immagini satellitari, sicuramente costituisce un fattore non prevedibile in grado di influenzare l'efficacia delle mappe di prescrizione prodotte a partire dai dati granulometrici ma che invece le immagini telerilevate colgono efficacemente.



Figura 2 – Presenza di scheletro rimescolato in tutto lo strato attivo in corrispondenza delle zone a maggior stress idrico per l'appezzamento sperimentale nelle immagini telerilevate.

La variabilità nelle condizioni della vegetazione evidenziata in Figura 1 è quindi stata attribuita, mediante controlli mirati (*smart scouting*) nelle aree a maggior differenziazione dell'indice nell'appezzamento, a variazioni locali delle condizioni soprattutto tessiturali caratteristiche dei suoli.

Mediante le misure di tensione dell'acqua nel terreno e mediante i dati tessiturali delle posizioni estreme alle posizioni meno favorite (MSI massimo) è stata attribuita empiricamente una riserva idrica utile pari a 45 mm mentre a quelle più favorite una riserva idrica utile pari a 75 mm. Sulla base dei valori di restituzione idrica giornaliera indicati dal disciplinare di produzione del mais della regione Emilia Romagna sono stati calcolati due bilanci idrici, al netto di eventuali precipitazioni, per i due valori estremi (45 e 75 mm) con turni e volumi che assicurassero il mantenimento di un minimo attorno al 20% della riserva idrica utilizzabile ad entrambe le condizioni di riserva idrica.

Le mappe di prescrizione irrigua a rateo variabile sono state ottenute da una interpolazione lineare, sulla base spaziale della mappa di riserva idrica stimata, della delle due dosi irrigue attribuite per le posizioni a massima e minima riserva stimata in ciascun turno irriguo. Il turno di irrigazione è stato stabilito sulle aree a minor riserva idrica che naturalmente, a parità di restituzioni giornaliere, raggiungono la condizione critiche della riserva idrica utilizzabile più velocemente, mentre i volumi irrigui sono calcolati in funzione della diversa capacità stimata di riempimento della riserva idrica utile. In questo modo i volumi maggiori possono essere di volta in volta attribuiti alle posizioni a più alta riserva idrica stimata o a quelle a più bassa in funzione del grado stimato di riempimento della riserva stessa e delle capacità di ritenzione dell'acqua delle diverse posizioni.

La prescrizione irrigua a rateo variabile calcolata, in altre parole, tende ad assicurare alla vegetazione condizioni sempre favorevoli di tensione dell'acqua nel terreno mediante volumi irrigui che in nessuna posizione eccedano la capacità di immagazzinamento stimata (tesaurizzazione della risorsa idrica ed ottimizzazione del suo utilizzo).

L'eccezionale piovosità registrata per l'azienda sperimentale nei mesi di maggio e giugno ha notevolmente "accorciato" la stagione irrigua con una forte diminuzione dei volumi irrigui stagionali. L'irrigazione a rateo variabile è stata realizzata mediante il sistema di irrigazione per aspersione a rateo variabile realizzato dalla ditta Casella in grado di modificare velocità di recupero dell'irrigatore e velocità angolare del getto in funzione della posizione GPS. Come visibile in Figura 3 dove è riportata una composita RGB a falsi colori del campo sperimentale da dati AISA Eagle del 25/08/2008, la parte di appezzamento irrigata a rateo variabile, di area di circa 2 ha corrispondente alla copertura dell'irrigatore, è stata affiancata una parte irrigata a rateo costante di pari area con volumi irrigui medi e totali analoghi per ciascun turno (volume irriguo a rateo costante pari alla media spaziale dei volumi a rateo variabile).

Risultati e discussione

Si riportano in Tabella 1 i volumi irrigui in mm relativi agli estremi della variabilità della dose irrigua date alle posizioni con minima (RIU min.) e massima (RIU max.) riserva idrica stimata e la media spaziale corrispondente ai volumi irrigui forniti alla parte di appezzamento irrigato a rateo costante.

Data irrigazione	Dose a RIU min. (mm)	Dose a RIU max. (mm)	Media spaziale (mm)
1 luglio	20	10	14
7 luglio	45	45	45
14 luglio	35	45	41
21 luglio	35	20	26
4 agosto	25	45	37
TOTALI	160	165	163

Tabella 1 – Volumi irrigui in mm relativi agli estremi della variabilità della dose irrigua date alle posizioni con minima (RIU min.) e massima (RIU max.) riserva idrica stimata e media spaziale corrispondente ai volumi irrigui forniti alla parte di appezzamento irrigato a rateo costante.

Si osserva in Tabella 1 che il totale stagionale della media spaziale (la dose irrigua media apportata con le prescrizione rateo variabile) è pari a 163 mm mentre il totale della dosi fornite alle zone di minima e massima riserva idrica stimata poco si discosta da tale valore. Si osserva anche che l'irrigazione del 7 luglio alla zona a minima RIU stimata, pari a 45 mm e quindi al totale della minima RIU, avveniva quando ormai la riserva idrica di quelle zone era stimata esaurita (non era cioè stato rispettato in quel caso il criterio di intervenire prima dell'esaurimento della riserva idrica).



Figura 3 – Composita RGB a falsi colori del campo sperimentale da dati AISAEagle del 25/08/2008.

Il trattamento a rateo variabile (VRT) su mais ha conseguito, a parità di volumi irrigui per ogni singolo turno, un notevole vantaggio produttivo rispetto al trattamento tradizionale. A parità di acqua impiegata, la resa produttiva nell'appezzamento irrigato in maniera variabile è stata di circa il

20% in più (128 contro 106 quintali di granella per ettaro). I risultati della sperimentazione suggeriscono che mediante l'utilizzo integrato delle mappe indice di vegetazione telerilevate e dei risultati dei controlli al suolo è possibile produrre mappe di prescrizione irrigua a rateo variabile in agricoltura di precisione volte alla tesaurizzazione della risorsa idrica ed all'ottimizzazione del suo utilizzo.

Riferimenti Bibliografici

Ceccato, P., Gobron, N., Flasse, S., Pinty, B., & Tarantola, S. (2002a), "Designing a spectral index to estimate vegetation water content from remote sensing data: Part 1. Theoretical approach", *Remote Sensing of Environment*, 82: 188– 197.

Ceccato, P., Flasse, S., & Gregoire, J. (2002b), "Designing a spectral index to estimate vegetation water content from remote sensing data: Part 2. Validation and applications", *Remote Sensing of Environment*, 82: 198– 207.

Gao, B. (1996), "NDWI—a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space", *Remote Sensing of Environment*, 58: 257– 266.

Miller, J. R., Elvidge, C. D., Rock, B. N., Freemantle, J. R. (1990), "An Airborne Perspective on Vegetation Phenology From the Analysis of AVIRIS Data Sets Over the Jasper Ridge Biological Preserve", in: *Proceedings of the IEEE Geosciences and Remote Sensing Society/URSI 1990 Conference*.

Soluzioni software VNS e GeoVIEW per l'analisi ambientale e l'impatto visivo 3D realtime

M. Gualdrini

GEOgrafica presenta la propria soluzione software per l'analisi paesaggistica e ambientale interattiva e tridimensionale, basata sul software di modellazione territoriale 3DNature Visual Nature Studio e sul navigatore 3D interattivo GEOview.

Il software Visual Nature Studio di 3DNature LLC, sul mercato da oltre 15 anni, è una delle più originali ed efficaci soluzioni software per integrare dati geografici e territoriali 3D, e rappresentarli in modo fotorealistico con la più alta qualità visiva possibile, mantenendo la correttezza geometrica ed il posizionamento geografico. Il software è specificamente rivolto alla modellazione territoriale ed alla rappresentazione ambientale, e presenta un originale set di algoritmi di distribuzione ecologica volti a simulare il più realisticamente il paesaggio e la vegetazione, con un dettaglio che può andare dalla grande scala fino al più minuto particolare, con la possibilità di rappresentare ogni singolo pianta o filo d'erba, oltre che altri elementi naturali quali fiumi, laghi, spiagge sabbiose e rocciose, nubi, cieli ed illuminazione atmosferica completa di ombre corrette in base alla latitudine e alla data di rappresentazione.

I paesaggi possono essere ricostruiti a partire da dati CAD/GIS, e "vestiti" utilizzando gli algoritmi di distribuzione naturale o appoggiandosi a dati vettoriali in formato GIS (ad esempio, shapefile di descrizione dell'uso del suolo, o del reticolo idrografico o stradale). Le variazioni di tutti i parametri naturali (linee di costa, andamento di fiumi, presenza di determinate specie di piante) possono essere animate nel tempo, in modo da valutare gli impatti visivi di interventi alternativi e di differenti scenari.

Visual Nature Studio opera come assemblatore dei dati provenienti da GIS, da remote sensing, da fotogrammetria digitale, laser scanner ecc. All'interno del builder, si ricostruisce un modello tridimensionale del territorio costituito da DEM, copertura fotogrammetrica, vegetazione 3D, manufatti, elementi vettoriali ecc. Sono disponibili innumerevoli librerie prevaricate per rappresentare i più comuni tematismi ecologici: queste librerie possono essere facilmente modificate o integrate con l'inserimento di specifici modelli o immagini fotografiche per meglio caratterizzare lo scenario.

Il modello viene quindi successivamente visualizzato secondo varie modalità:

- attraverso viste statiche da fotocamere virtuali (rendering statici) o con fotoinserimenti all'interno di immagini fotografiche;
- attraverso filmati "fly-through" renderizzati e visionabili attraverso i più comuni formati video;
- attraverso l'esportazione dello scenario in un visualizzatore 3d realtime, con la possibilità di "immergersi" nello scenario virtuale e muoversi liberamente nello spazio per l'analisi di dettaglio del territorio.

Per quanto attiene quest'ultima opzione, sono supportati svariati formati realtime, utilizzati da vari player commerciali ed OpenSource. In particolare, tra le varie opzioni di esportazione disponibile, si segnala la possibilità di esportare in formato KML/KMZ e visionare il settore di territorio modellato, completo di DEM ad alta risoluzione, ortofoto, alberi e manufatti, nel popolare player

GoogleEarth; utilizzare il formato VRML e visualizzare la scena attraverso un browser con apposito plugin VRML o viewer VRML standalone; utilizzare il formato proprietario 3DNature NatureView, visionabile con il viewer gratuito NatureView; utilizzare il formato Vterrain/GeoVIEW che permette di visualizzare la scena nel player opensource GeoVIEW, con la massima libertà di operatività e le migliori prestazioni grafiche disponibili.

Il player GeoVIEW, personalizzato da GEOgrafica sulla base di librerie OpenSource, offre a tutt'oggi le migliori performance grafiche in ambiente desktop realtime per la visualizzazione di scenari territoriali di aree vaste, con grande numero di specie vegetali 3d e contestuale presenza di manufatti anche particolarmente complessi, offrendo al contempo operatività diretta sul terreno con la possibilità di navigare liberamente, spostarsi da un punto di vista all'altro, creare percorsi di animazione o screenshot al volo, inserire direttamente singoli alberi, edifici, strutture singole o lungo tracciati.

I territori costruiti nel builder Visual Nature Studio vengono convertiti secondo la tecnica della paginazione MultiLOD, con l'inclusione delle mappature fotogrammetriche e/o delle fotogrammetrie "sintetiche" ricostruite attraverso gli algoritmi ecologici o le indicazioni delle mappe di uso del suolo. Gli alberi 3d vengono generati dagli stessi algoritmi di distribuzione ecologica, e posizionati in numero adeguato e scientificamente corretto sullo scenario, integrandosi con il DEM e le texture. Infine, i modelli dei manufatti vengono importati dai software di CAD o di grafica 3d, comprensivi di eventuali mappature fotogrammetriche, e posizionati sul modello tramite georeferenziazione.

Il modello interattivo, che può includere vari "scenari" (ad esempio pre- e post- intervento, oppure raffronto tra varie soluzioni progettuali), in qualità fotorealistica, viene visualizzata in 3D attraverso il player GEOview, con il quale le simulazioni territoriali dei progetti e delle soluzioni ambientali vengono analizzate "dall'interno", anche in stereoscopia attiva o passiva (anche attraverso l'economico strumento degli anaglifi, osservabili su qualunque dispositivo con i classici occhietti rosso/blu).

Tra le caratteristiche offerte dalla soluzione proposta elenchiamo:

- gestione di aree vaste ad altissima risoluzione sia per il terreno sia per le foto satellitari sovrapposte: l'utilizzo di terreni e texture paginate e MultiLOD permette di caricare progressivamente solo il dettaglio che serve e tralasciare le parti non in vista, permettendo di eseguire la simulazione su normali computer di utilizzo comune anche in presenza di scenari molto vasti;
- vegetazione tridimensionale su area vasta, posizionata con accuratezza su base GIS e ricostruita su parametri ecologici; la vegetazione può essere fatta scomparire oltre una certa distanza, per alleggerire il carico hardware e consentire la gestione di centinaia di migliaia di piante nello stesso scenario;
- inserimento di oggetti 3d di manufatti, sia come modelli provenienti da sistemi CAD (restituiti da fotogrammetria digitale o laser scanner) sia come solidi parametrici modificabili in tempo reale all'interno del software, attraverso l'input diretto del mouse;
- generazione automatica di aree edificate da dati CAD o GIS, con vestizione automatica delle pareti utilizzando una appropriata codifica del database associato;
- visualizzazione 3d di dati vettoriali GIS;
- visualizzazione 3d di etichette flottanti;
- caricamento istantaneo di punti di vista e percorsi camera precostituiti; possibilità di generazione ed archiviazione di punti di vista e percorsi camera personalizzati;
- strumenti di misura di tracciamento sezioni e profili in tempo reale, analisi delle zone di visibilità, sezioni dei manufatti, con possibilità di esportazione in formato DXF.

- gestione di scenari multipli, con possibilità di switch istantaneo tra uno e l'altro. Ogni scenario porta con sé il proprio set di edifici, piante, terreni eventualmente modificati, in modo a permettere un confronto immediato tra varie soluzioni o scenari ambientali, da qualsiasi punto di vista.

Il visualizzatore GeoVIEW si dimostra particolarmente indicato per la rappresentazione di progetti ingegneristici con componente ambientale, quali ad esempio la realizzazione di infrastrutture (strade, viadotti, gallerie), interventi di movimento terra con la realizzazione di cave e discariche ed il loro successivo ripristino ambientale, progetti di gestione del verde, rinaturalizzazione di aree in degrado eccetera. Lo strumento è inoltre estremamente utile per ricreare scenari ecologici del passato o del futuro, basandosi su dati archeologici o su modellistica ecologica avanzata su base GIS.

Lo strumento si è rivelato estremamente utile nell'ambito comunicativo con i media (es. Conferenze dei Servizi) e come strumento di supporto in ambito decisionale.

Vengono proposti alcuni casi reali di applicazione in ambito ingegneristico.

