

## **I metadati Geologici tra standard nazionale e internazionale: esperienze a confronto**

Valentina Campo (\*), Pierluigi Cara (\*\*), Carlo Cipolloni (\*),  
Maria Pia Congi (\*), Daniela Delogu (\*)

(\*) ISPRA, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Dipartimento Difesa del Suolo,  
Via Curtatone 5, Roma, valentina.campo@isprambiente.it, carlo.cipolloni@isprambiente.it  
mariapia.congi@isprambiente.it, daniela.delogu@isprambiente.it

(\*\*) Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Protezione Civile, Via Vitorchiano 2, 00189 Roma  
Tel. +39 0668202926, pierluigi.cara@protezionecivile.it

### **Riassunto**

Nel Geoportale del Servizio Geologico d'Italia si presta una elevata attenzione all'armonizzazione dei dati geologici anche a livello europeo. E' presente infatti una sezione specifica dedicata a due progetti internazionali che mettono in risalto il ruolo di un unico modello di dati standard per le informazioni geologiche. A questo scopo il Servizio Geologico d'Italia è partner del gruppo di lavoro dell' Interoperabilità IUGS-CGI che ha sviluppato il modello geologico dati (GeoSciML) e il linguaggio di codifica per le informazioni geologiche. Questo modello si basa su un'estensione del linguaggio GML del quale esistono tre principali release: la versione 2.1.1, che è il modello di dati candidato per le Specifiche dati di INSPIRE di cui all'allegato II, e due differenti versioni 3.0 (basate rispettivamente sui linguaggi GML 3.1.1 e 3.2.1 – OGC 2008).

### **Abstract**

*In the Geological geoportal we take in high consideration also the harmonization at the European level, in fact there are specific section dedicated to two international projects that highlight the role of a unique standard data model for geological information. In particular the Geological Survey is partner of Interoperability working group of the IUGS-CGI that has developed the geological data model (GeoSciML) and the encoding language for the geological information. This model is based on an extension of the GML language and, at the moment, exist three major release: version 2.1.1, that it's the data model candidate for INSPIRE data specification Annex II, and two different release version 3.0 based on the two versions of GML language (3.1.1 and 3.2.1 – OGC 2003, OGC 2007b).*

### **Introduzione**

A partire dai contenuti della normativa INSPIRE che trova origine nell'anno 2007, è iniziato un processo molto complesso che prevede la correlazione di tutte le informazioni geografiche di rispettivi file di metadati. Il Servizio Geologico d'Italia, già da tempo impegnato nella compilazione di metadati standard relativamente alle categorie tematiche elencate nell'Allegato II e III, ha prodotto entro la prima scadenza del D.L. 32 ovvero il 24 dicembre 2010 i metadati dei set di dati territoriali di sua competenza.

Il Servizio Geologico d'Italia, da tempo coinvolto nel progetto europeo *OneGeology* cerca di coniugare quanto espresso dalla direttiva INSPIRE insieme con le Regole Tecniche sui dati Territoriali evidenziando soprattutto la peculiarità dell'informazione geologica e la necessità di trovare una giusta collocazione della stessa all'interno delle diverse strutture di metadati.

Il D.L. 32 sancisce infatti 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 o delle

attività che possono avere ripercussioni sull'ambiente e stabilisce delle norme generali funzionali allo scambio, condivisione, accesso e utilizzo dei dati, in maniera integrata con le realtà regionali e locali.

In particolare in Italia il Comitato per le Regole tecniche sui dati territoriali ha previsto la raccolta dei metadati all'interno del RNDT secondo specifici profili ISO 19139 che si discostano dal profilo INSPIRE poiché più ricchi di informazioni.

La complessità del dato geologico ha reso indispensabile uno studio dettagliato dei diversi profili relativi ai dataset, servizi e cataloghi tali da essere in linea con gli standard di riferimento europeo (INSPIRE, OneGeology) e nazionale (RNDT).

### **Riferimenti**

La tecnologia offerta dal Portale del Servizio Geologico d'Italia ha consentito la produzione di metadati con profilo RNDT core flat. L'ideale potrebbe essere l'implementazione di profili personalizzati che contemplino le gerarchie. Risulta evidente che esistono ancora dei problemi aperti relativi all'ereditarietà fra serie, dataset e sezione per le quali i dati geologici in particolare si prestano ad un'attenta revisione.

Nel corso del 2010 SGI e DPC hanno collaborato al fine di avviare una sperimentazione relativa alla compilazione dei metadati per la Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 tenendo conto sia delle "Linee Guida – Parte generale" (CNIPA) che forniscono esempi di compilazione degli stessi nell'ambito delle specifiche tecniche di cui all'allegato 2 dello schema DPCM, sia delle *Metadata Implementing Rules* (INSPIRE, 2010). (Cara et alii 2010)

Inoltre, il Servizio Geologico essendo coinvolto in diversi progetti europei ed in particolare in *OneGeology-Europe* (<http://www.onegeology-europe.eu>) ha lo scopo di omogeneizzare i dati geologici relativi a 20 paesi europei.

Essendo inoltre *partner* attivo e *leader* di alcuni gruppi di lavoro tecnici, ha realizzato in via sperimentale, per due banche dati ovvero la Carta Geologica d'Italia alla scala 1:500.000 e quella della nuova Carta Geologica d'Italia alla scala 1:1.000.000, un'implementazione negli attributi al fine di consentire il processo di traduzione verso il modello geologico standard GeoSciML (IUGC-CGI, 2008) elaborato dal gruppo di lavoro sull'interoperabilità del IUGC-CGI. Il lavoro che è stato fatto ha riguardato principalmente la predisposizione di tabelle di transizione per consentire l'omogeneizzazione degli attributi quali litologia, età, composizione, tettonica, orogenesi e facies verso i vocabolari elaborati sia all'interno del modello GeoSciML che nello specifico gruppo di lavoro del progetto *OneGeology-Europe*. Quest'ultimo pone enorme attenzione alla compilazione del metadato esclusivamente a livello di serie e dataset, non contemplando nessun sottoinsieme del dataset come invece accade per la sezione, presa in considerazione dal RNDT.

La complessità del dato geologico ha reso indispensabile uno studio dettagliato dei diversi profili relativi ai dataset, servizi e cataloghi tali da essere in linea con gli standard di riferimento europeo (INSPIRE, OneGeology) e nazionale (RNDT).

### **Produzione di metadati geologici al livello nazionale**

Da un'analisi condotta a livello nazionale è emerso che molte regioni italiane si stanno dotando non solo di strumenti utili alla consultazione dell'informazione geologica ma anche alla produzione di metadati relativi alla stessa al fine di potenziare la completa fruizione da parte dell'utente.

Un esempio del fatto che è in atto un cambiamento nella struttura dell'informazione geologica è rappresentato da quanto predisposto dai differenti enti locali. Un esempio viene offerto dalla Regione Lombardia che ha pubblicato nel giugno u.s. la "Banca dati geologica del sottosuolo" contenente informazioni relative alla stratigrafia del sottosuolo e l'applicativo Cartografia Geologica in cui è consentita la visualizzazione, il download dei documenti, lo stato di avanzamento dei fogli della carta geologica alla scala 1:50.000. Il metadato pubblicato sembrerebbe non essere conforme né allo standard RNDT né a quello INSPIRE, ma si basa esclusivamente sul profilo ISO 19115 e/o 19119 Core.



La Regione Piemonte nella sezione dei Dati Geografici, ha pubblicato un Repertorio Cartografico in cui vi è completa accessibilità alla Scheda dei Metadati in formato Dublin Core.

La Regione Emilia Romagna espone già da anni informazioni a carattere geologico seguendo il modello di pubblicazione dei Metadati in Formato ESRI FGDC e in Formato Repository Emilia-Romagna probabilmente idoneo ad uso interno. Espone principalmente dataset e servizi WMS.

La regione Valle d'Aosta con il suo geoportale eroga metadati ISO 19115:2003/19139 versione 1.0. La descrizione dei dati è conforme a quanto previsto dal Repertorio Nazionale Dati Territoriali (RNDT), dal Decreto Legislativo 32/2010 e dalla Direttiva 2007/2/CE, che sanciscono l'istituzione di un'infrastruttura per l'informazione territoriale della Comunità europea (INSPIRE).

La Regione Sardegna con il Geoportale esposti metadati Dublin Core e ISO19115 scaricabili come xml.

La Regione Toscana espone metadati ISO 19115 relativa alla cartografia geologica in scala 1:10.000.

L'ARPA Piemonte attraverso il suo Portale espone dati e metadati allineati allo standard RNDT flat.

Il Servizio Geologico d'Italia (ISPRA) ha prodotto una nuova versione del Geoportale (Figura1)



Figura 1 – Il nuovo Geoportale SGI.

che si configura come punto d'accesso per la comunità italiana delle GeoScienze con la determinazione di integrare il più possibile al suo interno tutti gli standard inclusi lo GeoSciML specifico per la comunità geologica.

Le differenze tra il profilo INSPIRE relativo al dataset ed il profilo (RNDT) sono evidenziate nella figura di seguito riportata. In particolare in rosa vengono mostrate le sezioni non implementate in INSPIRE mentre in blu sono riportate le Mandatory e le Optional di Inspire non presenti in RNDT.

| Metadata profile difference       |                     |                       | RNDT | INSPIRE |
|-----------------------------------|---------------------|-----------------------|------|---------|
| 2.1.1.4 ParentIdentifier          |                     |                       | M    | Op      |
| Metadata responsible              |                     |                       |      |         |
| 2.1.1.6 Metadata point of contact | Contact info        | Phone                 | M    | F       |
|                                   |                     | electronicMailAddress | M    | O       |
|                                   |                     | linkage               | M    | F       |
| Data identification               |                     |                       |      |         |
| 2.2.2.8 Other keywords            | keywords            |                       | N.D. | M       |
|                                   | Thesaurus           | title                 | Op   | M       |
|                                   |                     | Data                  | N.D. | M       |
|                                   |                     | Data format           | N.D. | M       |
| 2.2.2.9 Spatial resolution        | Equivalent scale    |                       | M    | M       |
|                                   | Distance            |                       | M    | C       |
| 2.1.2.8 Charset                   |                     |                       | M    | Op      |
| Data extension                    |                     |                       |      |         |
| 2.1.3.2 Vertical extent           | Minimum value       |                       | M    | N.D.    |
|                                   | Maximum value       |                       | M    | N.D.    |
|                                   | Vertical Datum      |                       | M    | N.D.    |
| 2.1.3.2 Temporal extent           | Time Period - Begin |                       | Op   | M       |
|                                   | Time Period - End   |                       | Op   | M       |
|                                   | Creation            |                       | N.D. | M       |
|                                   | Publication         |                       | N.D. | M       |
|                                   | Revision            |                       | N.D. | M       |
| Data quality                      |                     |                       |      |         |
| 2.2.5.2 Positional accuracy       | Value unit          |                       | M    | N.D.    |
|                                   | Value               |                       | M    | N.D.    |
| 2.2.5.4 Conformity (Publication)  | Title               |                       | N.D. | M       |
|                                   | Date                |                       | N.D. | M       |
|                                   | Date Type           |                       | N.D. | M       |
| 2.2.5.5 Conformity degree         |                     |                       | N.D. | M       |
| 2.2.5.4 Conformity (Revision)     | Title               |                       | N.D. | M       |
|                                   | Date                |                       | N.D. | M       |
|                                   | Date Type           |                       | N.D. | M       |
| 2.2.5.5 Conformity degree         |                     |                       | N.D. | M       |

Figura 2 – Differenze fra il profilo INSPIRE ed il profilo RNDT.

L'operazione fatta attualmente per i dati geologici è stata quella di produrre i metadati che, grazie agli sviluppi recenti e alla flessibilità del *Geoportal Esri*, ha permesso di validare con successo, tramite il *Geoportal JRC* ed il portale del Repertorio Nazionale dei Dati Territoriali di DigitPA, i metadati compilati e creati (file xml secondo gli standard ISO-19139-2009) tramite l'utilizzo dei profili INSPIRE, OneGeology ed RNDT.

L'architettura (Figura 3) del Geoportale è composta da un catalogo di metadati in cui è memorizzato un profilo di metadati specifico per i diversi set di dati e servizi, in particolare sono state implementate il profilo standard INSPIRE e il profilo standard italiano di nome RNDT (legge 32) a cura di DigitPA (ex CNIPA) per rispondere a livello nazionale alla direttiva INSPIRE.

Il catalogo dei metadati è stato costruito conformemente ad un servizio di catalogo OGC in CSW 2.0.2 AP ISO (OGC, 2007a). I file di metadati prodotti dal Servizio Geologico d'Italia sono stati compilati in prima istanza in lingua italiana, ma gran parte di questi sono presenti anche in inglese. Per semplificare la ricerca nel Geoportale nel titolo metadati è presente anche il profilo standard di metadati acronimo e due lettere che individuano la lingua per *geologia\_1M\_INSPIRE\_IT* per esempio.

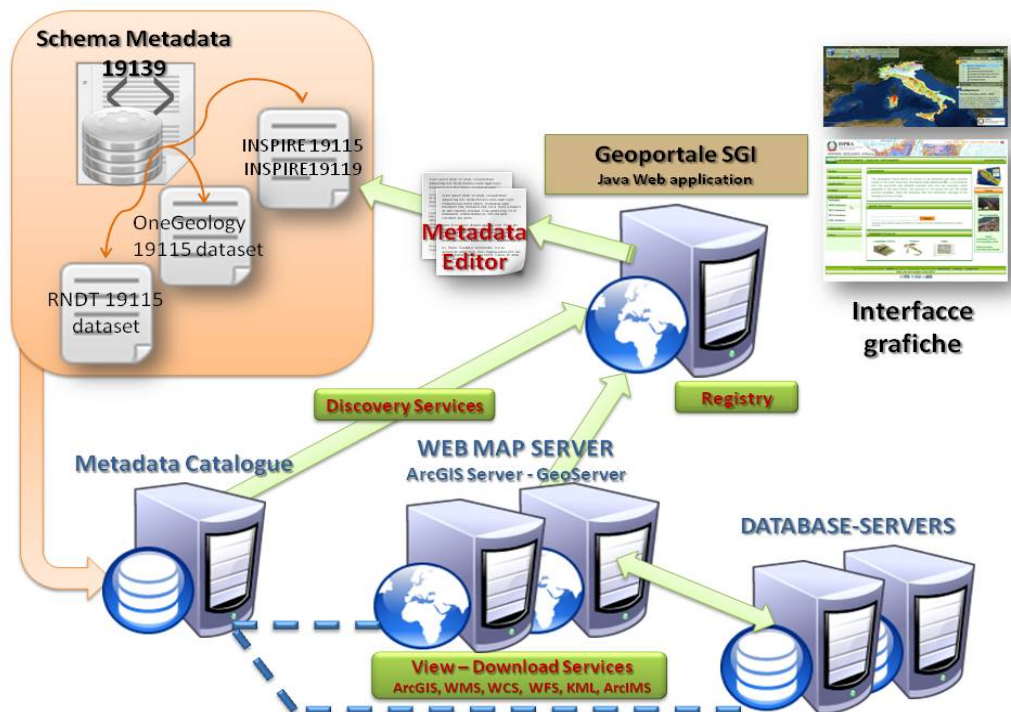


Figura 3 – Architettura del Portale del Servizio Geologico d'Italia.

Il Geoportale, che è già conforme alle nuove norme tecniche di INSPIRE (Technical Guidelines v.3 – JRC 2011a, 2001b), è stato progettato per avere servizi facilmente accessibili ed ogni metadato è collegato ad un servizio web standard e, quando disponibile, ad una scelta più ampia di servizi anche consultabili direttamente in una specifica sezione, come nel caso di servizi standard OGC WMS (più di 40), WFS, WCS e KML, o anche nel caso di standard commerciali ArcGIS Server e ArcIMS.

Al momento sono pubblicati più di 50 servizi differenti sia di carattere geologico che basi di supporto.

### Produzione di metadati geologici al livello internazionale

A livello internazionale il tentativo che si è operato con il progetto *OneGeology-Europe* è quello di estendere il profilo INSPIRE relativo a serie, dataset e servizi al fine di poter fornire all'utente maggiori informazioni relative alla qualità del dato geologico. Per far ciò, poiché attualmente l'unico metodo riconosciuto a livello internazionale valido per valutare la qualità di una mappa geologica, è quello di definire il processo che porta dal dato originale a quello digitale passando per

il metodo di informatizzazione, l'estensione del profilo è stata fatta soprattutto a livello di *MD-QualityData*.

Un altro aspetto preso in considerazione a livello internazionale è stato quello del multi-linguismo dei contenuti sia a livello di gestione del metadato sia a livello di struttura, in particolare i metadati prodotti da questo progetto risultano scritti in 16 lingue diverse relativamente agli attributi identificativi (MD\_DataIdentification): *Title e Abstract*.

Al fine di gestire i metadati dei servizi WMS e WFS, che secondo quanto previsto dalle ultime norme tecniche INSPIRE (*Technical Guidelines v.3* – JRC 2011a, 2001b) sono direttamente dipendenti dal *metadata capability file*, il progetto *OneGeology-Europe* ha implementato il connettore *java*, già realizzato per gestire le richieste in entrata e uscita in formato *GeoSciML*, al fine di restituire il file di metadato in diverse lingue.

Il progetto ha realizzato un catalogo di metadati a livello europeo che, allo stato attuale, viene gestito per conto dell'organizzazione internazionale *EuroGeoSurvey* (Servizio Geologico Europeo) dal Servizio Geologico della Repubblica Ceca, che l'ha sviluppato. Tale catalogo aggiornato con cadenza annuale rappresenta uno dei *repository* cui accede la Commissione Europea, ma nello spirito di cooperazione lascia la possibilità ad ogni stato di gestire gli stessi metadati nei propri applicativi.

All'interno del portale del servizio Geologico è già stato inserito il profilo dei metadati *OneGeology* relativo ai *dataset*, ma è in corso di realizzazione una fase di test volta ad identificare il miglior metodo di gestione del multi-linguismo degli stessi.

L'esperienza maturata a livello internazionale ha permesso di identificare le criticità e limitazioni del profilo INSPIRE base trovando soluzioni nell'estensione del profilo tali da non entrare in contrasto con lo stesso; a questo proposito è bene ricordare che attualmente questa nuova disposizione ha stimolato lo sviluppo di nuovi strumenti di gestione.

Inoltre a livello internazionale tramite l'applicazione del modello dati geologico uniforme *GeoSciML* (IUGS-CGI, 2008) si è tentato di eseguire un esperimento di armonizzazione anche a livello di servizi realizzando un sistema che, leggendo il linguaggio *GeoSciML* prodotto dai singoli servizi di mappa (WMS e WFS), fosse in grado di decifrare le risposte omogeneizzando i contenuti, le simbologie e i colori.

## Conclusioni

Partendo dal confronto tra esperienze internazionali e nazionali è stato possibile elaborare delle linee guida sul metodo di compilazione dei metadati atte a far in modo che ogni profilo rispettando i concetti e la struttura di base della direttiva INSPIRE, fosse compatibile con qualunque catalogo. Nello spirito di interoperabilità e dialogo tra cataloghi, anche il servizio di catalogo pubblicato recentemente nel Portale del Servizio Geologico è quello CS-W 2.0.2 ISO AP per INSPIRE. Nel seguente servizio CSW, infatti, è possibile l'interrogazione in più lingue (in funzione di quelle disponibili), come mostra la figura 4 che espone il metadato del catalogo nelle due lingue disponibili.

A livello nazionale aspettando la definitiva realizzazione di un catalogo unico che faccia *harvesting* sui cataloghi locali si è proceduto per il momento nello strutturare il catalogo con il profilo *RNDT core flat* relativo ai *dataset* dell'allegato II e a breve si procederà con l'inserimento dei metadati dei *dataset* che afferiscono all'allegato III.

Risulta ancora aperto il discorso di come vincolare i metadati dei *dataset* ai metadati di servizi che in molti casi rappresentano la possibilità di accesso a porzione degli stessi *dataset*. Un'interessante iniziativa in tal senso è stata percorsa da ARPA Piemonte con il processo trasfrontaliero *RiskNat* dove ai metadati dei *dataset* sono legate le URL dei servizi di mappa. A nostro giudizio tale uso delle URL si colloca in contrasto con l'uso dei metadati di servizi a meno della possibilità di legare al metadato dei dati una lista di URL tra cui quella di servizio costituendo così solo una delle molteplici possibilità di accesso al dato.



Figura 4 – Esempio di interrogazione multilingua.

L'interesse principale del lavoro è quello, da parte del Servizio Geologico d'Italia, di creare un catalogo che risponda alle molteplici richieste e che rappresenti un punto di accesso preferenziale per l'informazione Geo-Scientifica, mantenendo sempre vivo l'interesse sull'informazione geologica che si configura nel panorama dell'informazione cartografica come la risorsa fondamentale per lo studio e la pianificazione della difesa del suolo.

### Riferimenti bibliografici

Cara P., Congi M.P. (2010), "Applicazione in ambito geoscientifico delle specifiche tecniche del Repertorio Nazionale dei Dati Territoriali", *Atti 14ª Conferenza Asita*, 469-473

JRC - European Commission (2011a), "Technical Guidance for the implementation of INSPIRE Discovery Services", *INSPIRE Network Service*, <http://inspire.jrc.ec.europa.eu/index.cfm/pageid/5>.

JRC - European Commission (2011b), "Technical Guidance for the implementation of INSPIRE View Services", *INSPIRE Network Service*, <http://inspire.jrc.ec.europa.eu/index.cfm/pageid/5>.

OGC (2003), "OpenGIS® Geography Markup Language (GML) Encoding Standard version 3.1.1.", *doc- 03-105r1*, [http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact\\_id=4700](http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=4700).

OGC (2007a), "OpenGIS® Catalogue Services Specification version 2.0.2", *doc-OGC 07-006r1*, [http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact\\_id=20555](http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=20555).

OGC (2007b), "OpenGIS® Geography Markup Language (GML) Encoding Standard version 3.2.1.", *doc-OGC 07-036*, [http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact\\_id=20509](http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=20509).

IUGC-CGI (2008), "GeoSciML Cookbook: How To Map Data to GeoSciML Version 2.1", [http://www.geosciml.org/geosciml/2.1/cookbook/GeoSciML\\_Data\\_CookBook\\_V2.1\\_1.0.pdf](http://www.geosciml.org/geosciml/2.1/cookbook/GeoSciML_Data_CookBook_V2.1_1.0.pdf)



## **La ricerca dei dati geologici per canali tematici nel catalogo dei metadati del Servizio Geologico d'Italia**

Campo V., Cipolloni C., Congi M.P., Ceralli D., Delogu D., Roma M., Zonetti C.

ISPRA, Via Curtatone 3, 00185 Roma, 06.50071

valentina.campo@isprambiente.it, carlo.cipolloni@isprambiente.it, mariapia.congi@isprambiente.it

dora.ceralli@isprambiente.it, daniela.delogu@isprambiente.it, mauro.roma@isprambiente.it

claudio.zonetti@isprambiente.it

Il Portale del Servizio Geologico d'Italia accessibile all'indirizzo <http://sgi.isprambiente.it/geoportal> dispone di un catalogo di metadati nel quale è possibile ricercare le informazioni anche mediante i canali tematici, ossia risorse informative relative a contenuti di particolare interesse che il Servizio Geologico mette a disposizione attraverso dati e prodotti cartografici, documenti, servizi informativi.

Per l'organizzazione in canali tematici si è partiti dall'analisi del contenuto informativo dei dati disponibili al fine di riconoscere delle "categorie" di riferimento nelle quali fare confluire le informazioni di diversa natura, sia quelle di proprietà del Servizio Geologico che quelle acquisite da terzi. Sono state ad oggi individuate cinque categorie di dati all'interno delle quali sarà possibile consultare non solo i metadati afferenti ai contenuti del portale e relativi a progetti presenti su scala nazionale, ma anche quelli più specifici che comprendono, ad esempio, elaborati di dettaglio, sia a livello regionale che locale.

I canali tematici identificati sono i seguenti: Dati geologici, Pericoli naturali, Monitoraggio, Risorse e Idrogeologia.

Nei Dati geologici, ad esempio, è possibile consultare i dati del Servizio Geologico relativi alle informazioni geologiche del territorio italiano disponibili a diversa scala cartografica, a partire da 1:1.000.000 fino ai fogli geologici del Progetto CARG, in scala 1:50.000, seppur in fase di completamento, alla Carta litologica d'Italia alla scala 1:100.000 e altro ancora.

Nella voce Pericoli naturali si ha accesso alle informazioni riguardanti alcuni eventi naturali che si verificano sul territorio italiano; si possono infatti consultare i dati del Progetto Sinkholes, ossia la banca dati dei fenomeni di sprofondamento censiti sul nostro territorio nonché quelli del Progetto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia), realizzato dall'ISPRA e dalle Regioni e Province Autonome, che ha raccolto ad oggi 485.000 fenomeni franosi su un'area di 20.721 km<sup>2</sup>, pari al 6,9% del territorio nazionale e rappresenta, quindi, uno strumento conoscitivo di base per la valutazione del rischio da frana, per la programmazione degli interventi di difesa del suolo e per la pianificazione territoriale a scala nazionale e locale.

Per quanto riguarda la categoria Monitoraggio all'interno di questa si reperiscono i dati del Progetto ReNDiS (Repertorio Nazionale degli interventi per la Difesa del Suolo) sviluppato per raccogliere le informazioni su tutti gli interventi finanziati dal MATTM, a partire dal 1999 ad oggi per monitorare il territorio, attività che l'ISPRA svolge, per conto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, al fine di attuare i piani e i programmi di interventi urgenti per la mitigazione del rischio idrogeologico finanziati dal Ministero stesso. Il Repertorio fornisce un quadro unitario, sistematicamente aggiornato, delle opere e delle risorse impegnate, condiviso tra tutte le Amministrazioni che operano nella pianificazione ed attuazione degli interventi, proponendosi come uno strumento conoscitivo potenzialmente in grado di migliorare il coordinamento e l'ottimizzazione della spesa nazionale per la difesa del suolo, nonché di favorire la trasparenza e l'accesso dei cittadini alle informazioni.



Nel canale Risorse, invece, sono disponibili i dati dell'Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/84) e quelli del Progetto Sondaggi profondi in cui sono contenuti i dati dell'attività di Esplorazione e Produzione degli idrocarburi in Italia depositati presso l'UNMIG dal 1957 a oggi, e che per legge possono essere resi pubblici dopo un anno dalla cessazione del titolo minerario della società che li ha realizzati.

Una particolare attenzione è stata posta nella creazione del tema Idrogeologia in considerazione del fatto che, ad oggi, non è ancora disponibile un elaborato cartografico che sintetizzi a scala nazionale le informazioni idrogeologiche raccolte nel corso degli anni dalla comunità scientifica italiana, è stato realizzato un riferimento tematico idrogeologico, in formato raster, da utilizzare come strumento, oltre che di consultazione, soprattutto di confronto e sovrapposizione con gli altri dati di carattere geologico-tecnico, già pubblicati e visualizzabili attraverso lo stesso Portale del Servizio Geologico. Quest'ultimo già in passato si è occupato della raccolta di studi e carte idrogeologiche (Mari et alii, 2005, 2007a,b), disponendo di un censimento di cartografia idrogeologica finalizzato alla definizione dello stato conoscitivo attinente all'idrogeologia del territorio nazionale. In tal modo le informazioni territoriali relative all'Idrogeologia sono state predisposte secondo un "mosaico" digitale ossia un quadro idrogeologico generale e omogeneo sulle conoscenze idrogeologiche dell'intero territorio nazionale al fine di fornire almeno utili riferimenti in termini di risorsa idrica sotterranea, con particolare riguardo ai punti sorgivi, alle direzioni di flusso sotterraneo e, in taluni casi, alla vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi.

### **Riferimenti bibliografici**

Mari G.M., Tacchia D., Ventura R. & Roma M. (2005) – Dal censimento di studi e carte idrogeologiche alla organizzazione di un GIS sulle risorse idriche sotterranee del territorio nazionale. Atti della 9<sup>a</sup> Conferenza Nazionale Asita, Catania – Atti Vol. II, 1441-1446

Mari G.M., Roma M., Tacchia D. & Ventura R. (2007a) – The APAT library-owned documents related to the groundwater resources: an example of utilization by means of a geographical information system. Atti Sesto Forum Italiano di Scienze della Terra (FIST), Rimini.

Mari G.M., Tacchia D., Ventura R. & Roma M. (2007b) – Censimento di studi e carte idrogeologiche realizzate nel territorio nazionale. Uno strumento per migliorare le conoscenze sulle risorse idriche sotterranee. *Giornale di Geologia Applicata*, 6, 135-140, doi: 10.1474/GGA.2007-05.0-10-0170.

## Classificazione di aree periurbane per interventi ambientali

Anna Rosa Candura (\*), Orio De Paoli (\*\*)<sup>1</sup>

(\*) Università degli Studi di Pavia, Dipartimento di Scienze Storiche e Geografiche

(\*\*) Politecnico di Torino, Dinse (Dipartimento di Scienze e Tecniche per i Processi di Insediamento)

### Sommario

La contemporanea situazione di degrado della qualità dell'aria e dei suoli suggerisce una continua ricerca di indicatori ambientali, specialmente legati al computo della superficie urbanizzata.

### Abstract

The current deterioration of air and soil suggests a continued search for environmental indicators, especially related to urbanized areas.

### 1 - Premessa

In Italia, il consumo di suolo continua a crescere producendo insediamenti disordinati e scarsamente pianificati, soprattutto nelle aree periurbane.

La versatilità dello strumento cartografico consente di mettere a fuoco il rapporto causa-effetto nelle modifiche apportate al paesaggio urbano nel nostro Paese. Il punto di partenza della presente ricerca si basa, pertanto, sull'analisi cartografica dell'uso del suolo:

«Tale passo preliminare, teoricamente semplice, è reso macchinoso, fra l'altro, anche dal non omogeneo livello dell'informazione geografica europea nell'ambito della quale la direttiva INSPIRE (<http://inspire.jrc.ec.europa.eu/>) ha notoriamente un ruolo determinante<sup>2</sup>. Buone prospettive sembrano configurarsi dall'affidamento del Geoportale Europeo INSPIRE a Planetek Italia<sup>3</sup>, tuttavia rimane l'annoso problema dell'integrazione delle fonti che la stessa Planetek Italia

---

<sup>1</sup> I paragrafi 1 e 3 vanno attribuiti ad Anna Rosa Candura; il paragrafo 2 va attribuito ad Orio De Paoli.

<sup>2</sup> Interessanti osservazioni sullo stato dell'arte dell'informazione geografica europea si possono desumere da un contributo che riassume la situazione in alcuni Stati europei: «Il 26 marzo a Bruxelles si è svolto, ospitato dalla Commissione Europea [...] il quindicesimo incontro ed assemblea annuale dei membri dell'associazione EUROGI, la prima organizzazione-ombrello europea dedicata alle singole associazioni nazionali attive nell'ambito dell'Informazione Geografica. [...] Il focus dell'intervento [...] si è concentrato sulla trasposizione della Direttiva INSPIRE negli Stati Membri rappresentati in EUROGI. Anche se le presentazioni sono state omogeneizzate [...] i risultati non sono facili da uniformare, questo a causa di situazioni procedurali diverse e complesse caratterizzanti i singoli Stati. La cattiva - ma ormai attesa - notizia è che la trasposizione prenderà più tempo del previsto e che pochissimi Stati membri rispetteranno la scadenza ufficiale del maggio 2009. La buona notizia è invece il fatto che, sulla scorta di un crescendo, la maggior parte degli Stati sta attivamente partecipando alla definizione delle regole e degli standard dei dati [...]»; segue una disamina dello stato dell'arte in Austria, Belgio, Repubblica Ceca, Germania, Spagna, Finlandia, Francia, Danimarca, Irlanda, Islanda, Olanda, Portogallo e Italia, per quest'ultima con considerazioni sconcertanti: «In Italia, dal sito del Ministero dell'Ambiente non è possibile avere nessuna informazione; AMFM GIS Italia, in qualità di ente non ufficiale, non è stata interpellata sull'argomento ma è cosa nota che si sta lavorando in tal senso.» (Salvemini, 2009, pp. 40-41, *passim*).

<sup>3</sup> «Planetek Italia è stata incaricata dello sviluppo del nuovo Geoportale Europeo INSPIRE per conto dell'Institute for Environment and Sustainability del Joint Research Centre (JRC), che sostituirà a livello operativo l'attuale prototipo realizzato dal JRC» ([www.rivistageomedia.it/201104043259/Notizie/lo-sviluppo-del-geoportale-europeo-inspire-affidato-a-planetek-italia.html](http://www.rivistageomedia.it/201104043259/Notizie/lo-sviluppo-del-geoportale-europeo-inspire-affidato-a-planetek-italia.html)).

goliardicamente ribadisce nel proprio blog<sup>4</sup>. S'impone, pertanto, un'operazione preliminare, vale a dire l'individuazione delle porzioni di territorio maggiormente interessate a variazioni dell'uso del suolo che comportino la costruzione di nuove superfici artificiali. » (De Paoli e Candura, 2011).

L'integrazione delle fonti non è, tuttavia, l'unico ostacolo preliminare che si sia presentato; ci si è dovuti, infatti, misurare con la disinformazione, principalmente quella dei siti *web*, ma non solo. Ad esempio, Legambiente riferisce:

«Ambiente Italia 2011 dedicato al consumo di suolo. Ogni anno consumati 500 km<sup>2</sup> di territorio. [...]» ([www.legambiente.it/](http://www.legambiente.it/))<sup>5</sup>.

Secondo Legambiente, pertanto:

«[...] attualmente la superficie urbanizzata del nostro Paese ammonterebbe a 23.500 chilometri quadrati, indicati come il 7,6% del territorio nazionale del quale, tuttavia, non viene riportata l'estensione. Utilizzando come riferimento le misure ufficiali riportate dal Calendario Atlante de Agostini (2010 e 2011), questi 23.500 chilometri quadrati sono il 7,8% (non il 7,6 dichiarato da Legambiente). Non viene, peraltro, fatta alcuna menzione della fonte dalla quale vengono tratti i dati. Leggendo con attenzione il documento, i termini "consumato" e "urbanizzato" (riferiti a territorio) sono sinonimi. Riferendosi al *database* CLC 2006, ad esempio, la superficie urbanizzata italiana copre il 4,94% (non il 7,6) del territorio; l'aumento, inoltre, è dello 0,13% nel decennio 1900-2000 e dello 0,10% fra il 2000 e il 2006 (EEA, 2010a, p. 13), mentre i 500 chilometri quadrati «mediamente consumati» ogni anno riferiti da Legambiente corrispondono allo 0,16%. Anche ammettendo che si possano avere discrepanze dovute alla non eccellente scala di rilevamento del progetto CLC, non è possibile che un dato sia tanto superiore all'altro.» (De Paoli e Candura, 2011). L'Osservatorio Nazionale sui consumi di suolo, costituito per iniziativa DIAP (Dipartimento Architettura e Pianificazione - Politecnico di Milano), INU (Istituto Nazionale di Urbanistica) e Legambiente ([www.inu.it/attivita\\_inu/ONCS.html](http://www.inu.it/attivita_inu/ONCS.html)), pubblica una dichiarazione d'intenti nella quale afferma di voler raccogliere dati e definire metodi di analisi e valutazione, ma si tratta di un progetto, pur prodotto con grande cura e articolato in raccolta dati e proposta di legge<sup>6</sup>.

<sup>4</sup> «L'integrazione delle fonti informative sembra essere il mantra geomatico del terzo millennio ma come diceva all'incirca un vecchio adagio "tra il dire e il fare c'è di mezzo il mare". Non ci sono dubbi che con il proliferare di tipologie di dati e di fonti informative, la quantità di informazioni a disposizione tende ad aumentare in modo esponenziale. Sistemi di rilevamento a terra, aviotrasportati (aerei, elicotteri, palloni, droni, deltaplani) e spaziali stanno "mettendo in crisi", grazie ad una molteplicità di sensori che il mercato mette a disposizione, le abitudini e procedure di tutti coloro che utilizzano le informazioni geospaziali per le proprie attività. Ma come sappiamo le abitudini sono dure a morire e, onestamente, credo sia oggettivamente molto difficile cambiarle con una velocità sempre crescente alla quale ci costringono tutti questi aggiornamenti. In questi mesi sto visitando molte Amministrazioni per proporre l'adozione di prodotti geoinformativi derivati da dati telerilevati da satellite - Preciso Land in particolare - a supporto delle attività di pianificazione urbanistica e territoriale. I tecnici delle amministrazioni comunali mi confermano il grande interesse in questo tipo di prodotto, ma hanno anche sollevato alcune perplessità riguardo la sua adozione. Troppe informazioni... Un discorso tipo è il seguente: *"a me serve una aerofotogrammetria - parlando di cartografia tecnica - con una definizione di scala almeno 1:1.000 - per qualsiasi attività? anche per la definizione del quadro sinottico alla base della pianificazione urbanistica? - altrimenti non mi serve a nulla - quindi meglio una carta vecchia ma precisa che una aggiornata meno precisa (sic!) -, inoltre la mia aerofotogrammetria è collaudata e quindi se poi nasce un contenzioso, anche se si tratta di un dato vecchio e non aggiornato, io sto tranquillo. Quando vado davanti al giudice, tanto di 'sti tempi un ricorso e una causa ti toccano sempre, se uso invece questa cartografia aggiornata chi mi certifica che corrisponda alla verità? [...]"*» (<http://blog.planetek.it/>).

<sup>5</sup> I siti *web* che si riferiscono ai dati Legambiente sono centinaia; se ne segnalano solo tre, di natura assai differente, onde dare un'idea di quanto sia considerata attendibile l'associazione:

<http://nicolazingaretnews.wordpress.com/2011/03/07/legambiente-ambiente-italia-2011-dedicato-al-consumo-di-suolo/> ;

[www.dire.it/](http://www.dire.it/) ;

[www.casa24.ilsole24ore.com](http://www.casa24.ilsole24ore.com)

<sup>6</sup> Per la raccolta dati, si veda [www.inu.it/attivita\\_inu/download/Spreco\\_territorio/RicMat.pdf](http://www.inu.it/attivita_inu/download/Spreco_territorio/RicMat.pdf)

Per la proposta di legge, si veda il testo: «[...] Limitare il consumo di suolo & costruire ambiente. Promuovere un governo sostenibile del territorio - Politecnico di Milano, 7 novembre 2007. [...] a cura di Paolo Pileri e Arturo Lanzani. Premessa - L'attività edilizia per lungo tempo, [...] è stata strettamente associata ad una contestuale attività di costruzione di spazi urbani di convivenza e di socialità [...]. Da molto tempo questa contestualità si è incrinata: gli edifici spesso si appoggiano come oggetti isolati alle infrastrutture, [...] l'attività edificatoria è ormai totalmente scissa

L'Istituto Nazionale di Urbanistica ridimensiona, tuttavia, il dato di Legambiente, indicandone uno ricavabile da CLC: «[...] L'unico dato certo riguarda la superficie attualmente urbanizzata, che è pari al 4,6% di quella dell'intera superficie nazionale [...]»<sup>7</sup>.

## 2 - Fonti e terminologia

Le molte ed assortite analisi relative alla tutela dell'ambiente sono spesso manchevoli nel riferire (e utilizzare) le fonti, ma ancor più difettano nell'analisi dei legami col territorio:

«[...] gli studi tendono a riferirsi a territori generici [...] o ad altri più specifici, ma assai difficili da rappresentare cartograficamente (ad esempio l'area periurbana, la metropoli, la periferia *et similia*).» (De Paoli e Candura, 2011).

Si è dunque ritenuto opportuno proporre alcuni chiarimenti concettuali e terminologici per meglio definire il campo di studio:

«Dopo aver definito i luoghi geografici in termini di posizione assoluta e relativa diventa possibile [...] passare a considerare il concetto di *spazio geografico*, da intender genericamente come un insieme di luoghi geografici, ossia appartenenti concretamente alla superficie terrestre, [...]. Lo spazio geografico, assai più complesso di quello geometrico, è [...] paragonabile ad un campo d'azione i cui attributi vengono utilizzati in modo diverso a seconda dei gruppi umani. [...] quando uno spazio geografico risulta segnato dalle creazioni e dai vissuti sociali, solo e soltanto allora, si trasforma in *territorio*, per effetto della cosiddetta *territorialità*, cioè di quell'insieme di relazioni verticali ed orizzontali capaci di permettere ai diversi gruppi sociali di far valere i propri interessi nello spazio [...]. Nell'accezione storico-sociale che oggi gli si attribuisce, il concetto di "territorio" viene così ad assumere il significato di un ambito spaziale visto sempre meno come supporto fisico (il "suolo") e sempre più come risultante di processi causati dalle società [...]» (Rocca, 2011, p. 24; i corsivi sono dell'Autore).

La continua evoluzione del territorio dipende anche dagli elementi creatori della sua identità. L'area periurbana, ad esempio, è un modello di territorio ed anch'essa subisce continui mutamenti nella sua struttura come nella sua definizione in ambito disciplinare. A tale proposito, L'Osservatorio Città Sostenibili fa notare come, nella definizione "frange periurbane", si comprendano strutture insediative di natura assai differente<sup>8</sup>.

---

(anche nel mondo rurale) dall'attività di cura del suolo. Le stesse infrastrutture si appoggiano alla terra senza sempre domandarsi quali rapporti mutano e quali effetti producono. [...] ogni trasformazione si deve accompagnare ad un serio processo di valutazione della necessità e della sostenibilità dell'intervento che la richiama. [...] occorre rilevare che nel nostro ordinamento non esiste uno 'statuto' dei suoli, i suoli non sono considerati risorsa naturale limitata e come tale sottoposti ad una disciplina che ne preveda la conservazione. [...] Ecco allora qui proposti una nuova serie di principi per tutelare il delicato equilibrio tra ciò che una trasformazione toglie alla natura e al paesaggio e ciò che una trasformazione può dare alla natura e al paesaggio [...] STATUTO DEI SUOLI - Principi fondativi - Art. 1 – il suolo è una risorsa strategica che va preservata [...] Art. 2 – Affermazione dei principi 'no unless' (nulla a meno che), 'no net loss' (nessuna perdita secca). [...] Art. 3 – Il bilancio ecologico locale non va peggiorato [...] Art. 4 – compensazione ecologica preventiva [...] Art. 5 – Verifica preventiva della disponibilità di aree urbane già edificate e urbanizzate [...] Art. 6 – Depositi verdi [...] Art. 7 - Insediamenti ed edilizia ecocompatibili [...] Art. 8 – Registro dei suoli - È istituito il registro dei suoli presso ogni comune [...].

([www.inu.it/attivita\\_inu/download/Spreco\\_territorio/appunti\\_per\\_una\\_proposta\\_di\\_legge.pdf](http://www.inu.it/attivita_inu/download/Spreco_territorio/appunti_per_una_proposta_di_legge.pdf)).

«Si potrebbe sostenere che vi sia un vero e proprio nuovo modello di area periurbana basato non più sull'individuazione di pur importanti fattori, ma su mere questioni politiche, vale a dire sull'avvicinarsi di giunte comunali dell'uno o dell'altro parere. Accade che le politiche (o micro-politiche) territoriali dei comuni (soprattutto piccoli comuni della cintura) modifichino l'uso del suolo (quindi il paesaggio urbano) talora più delle politiche nazionali o di quelle delle grandi città (politicamente più appetibili e più esposte al controllo sociale).» (De Paoli e Candura, 2011).

<sup>7</sup> [www.inu.it/attivita\\_inu/download/Spreco\\_territorio/Consumo\\_di\\_Suolo.pdf](http://www.inu.it/attivita_inu/download/Spreco_territorio/Consumo_di_Suolo.pdf)

<sup>8</sup> «Le frange periurbane sono la forma tipica che la città assume quando cresce in modo disgregato. Esse, infatti, sono formazioni urbane costituite da un certo numero di centri abitati compatti congiunti da tessuti edilizi disgregati che si propagano dalle loro periferie e nelle cui maglie sono stati inglobati residui di mosaici agricoli. [...] La propagazione dei tessuti edilizi disgregati avviene, di preferenza, lungo le principali direttrici stradali di collegamento intercomunale [...], ma è spesso attratta dalla presenza di aree dotate di una particolare amenità ambientale e paesaggistica, come sono, ad esempio, le aree collinari. [...] le frange periurbane sono dunque sistemi multipolari, costituiti cioè da più centri

Per le aree metropolitane, si può ricordare quanto affermato da Scaramellini:

«Il problema concettuale [...] consiste nel definire gli elementi che distinguono l'«area metropolitana» da tutti gli altri fenomeni di recente e cospicua urbanizzazione («conurbazioni», «agglomerati urbani», «città diffuse», «periferie urbane», «aree periurbane»), i quali si definiscono, quindi si manifestano e si descrivono, in chiave essenzialmente urbanistica ed edilizia. Alla base dell'intera riflessione deve pertanto porsi una nozione appropriata di «funzione metropolitana», che si può definire come un'attività «generatrice di ordine spaziale», produttrice cioè di impulsi, stimoli, ordini, capaci di dirigere, coordinare, organizzare le relazioni che innervano la vita culturale, sociale ed economica [...] [la funzione metropolitana] è dotata di un ruolo «attivo» nei processi di organizzazione territoriale, diversamente dalle «funzioni urbane», che sono «passive» o «ricettive», cioè forniscono beni e servizi [...]. L'azione spaziale di tali funzioni metropolitane non si svolge soltanto rispetto a un «intorno» geografico [...], ma si proietta nello «spazio economico potenziale» (l'intero spazio terrestre), e non genera un'entità spaziale «areale» in senso geometrico [...], ma uno spazio discontinuo, [...] Un problema basilare riguarda la delimitazione esterna dell'area metropolitana, dal momento che, per definizione, essa dovrebbe costituire una porzione di territorio avente caratteri peculiari e distintivi rispetto allo spazio circostante. [...]. Quindi una «area metropolitana», più che un territorio composto da elementi fisici [...] e identificabile in base a tali componenti costitutive, si può definire la porzione di spazio terrestre interessato da un sistema di rapporti (materiali e immateriali) in esso intessuti da istituzioni e agenti («organizzazioni») di natura «metropolitana». Essa appare una realtà complessa, composta da più elementi «geografici», funzionalmente e territorialmente differenti [...]» (Scaramellini, 2004, p. 483).

In egual misura, il complesso fenomeno delle periferie urbane può riassumersi nelle parole di Fumagalli:

«[...] la città di oggi è in gran parte costituita dalla periferia, dove vive e abita la maggior parte della popolazione urbana. [...] le periferie sono un aspetto tipico delle grandi città, [...] hanno cominciato a manifestarsi con l'industrializzazione e con la evoluzione dei sistemi di trasporto [...]. Ne è derivata una entità compatta, la periferia appunto, che costituiva un insieme con la città, [...]

---

abitati, resi continui da tessuti insediativi disgregati. La frangia periurbana viene qui distinta dalla frangia urbana, la quale si riferisce al ristretto margine del bordo sfrangiato con cui i centri abitati non compatti confinano con la campagna. [...] Le formazioni disgregate delle frange periurbane e delle frange urbane non sono rinvenibili là dove lo sviluppo urbanistico della città si mantiene compatto. La città compatta è sempre caratterizzata da una netta distinzione tra paesaggio urbano e paesaggio agricolo, di cui il bordo della città è appunto il miglior testimone. [...] Il confronto tra città compatta e città disgregata è istruttivo anche per chi si occupa di paesaggio. Nella città compatta il paesaggio agricolo è, per definizione, intatto; cioè non contaminato da edifici che non siano connessi con l'attività agricola, e il paesaggio urbano è, in generale, di buona qualità, essendo la città compatta l'esito di un disegno pianificato e progettato. [...] Nella città disgregata il paesaggio urbano è scadente e quello agricolo è irrimediabilmente contaminato da costruzioni destinate a funzioni urbane. Nel determinare la qualità del paesaggio urbano gioca un ruolo di primaria importanza il modo in cui la città organizza lo spazio residenziale, cioè il sistema delle abitazioni e dei servizi sociali di base, a cominciare dalle scuole e dal verde pubblico. La compattezza del tessuto urbano la si gioca fondamentalmente nella capacità di organizzare questo spazio come spazio delle relazioni di accessibilità pedonale tra abitazioni e servizi sociali di base. Quando questo principio viene meno, affidando il compito dell'accessibilità alla mobilità con l'auto, il tessuto residenziale si disgrega. [...] Altrettanto importante per la qualità del paesaggio urbano e per l'integrità di quello agricolo è il mantenimento della compattezza delle zone industriali e del modo in cui le si rinverdisce, sia all'interno che lungo i bordi. [...] Nelle frange periurbane il paesaggio agricolo scompare e quello urbano non prende forma. Nelle frange periurbane *cityscape* e *landscape* sono irrintracciabili. Essi sono stati sostituiti da ciò che, in mancanza di meglio, potremmo chiamare *periurbanscape*, uno spazio costituito da una commistione di frammenti costruiti e agricoli. Nel paesaggio periurbano la campagna subisce un degrado strutturale, dovuto alla frammentazione dell'agroecotessuto e alla insularizzazione dei suoi frammenti nelle maglie delle reti infrastrutturali e del costruito. [...] Il giusto simmetrico di questo degrado del paesaggio agricolo è la scadente qualità della città disgregata. Il paesaggio periurbano segna così una duplice perdita in termini di *landscape* e di *cityscape*. Se si vuole costruire città di qualità e tutelare il paesaggio agricolo e naturale, occorre contrastare la formazione delle frange periurbane. Il tema delle frange periurbane e dei loro processi di formazione costituisce il tema centrale della tutela del paesaggio, perché il problema del paesaggio è fondamentalmente un problema urbanistico. [...]» (OCS, 2007, pp. 3-8, *passim*).

contrapposta alla campagna. [...] Era un tratto morfologico preciso: la fascia che avvolgeva la città storica [...]. La città tuttavia, con lo sviluppo delle attività manifatturiere, aumentava continuamente di dimensioni e generava un fronte di crescita. [...] Con il progressivo crescere di importanza dell'industria, nuovi quartieri si sono aggiunti per ospitare la popolazione operaia, diffondendosi a macchia d'olio nella città vecchia ed ai margini di essa. Dentro la fascia periferica si presentano nuclei differenziati: quartieri di varia origine, dimore unifamiliari a maglie larghe, superstiti centri rurali. In genere [...] è compresa entro i confini amministrativi della città. In seguito al diffondersi della motorizzazione privata, ai prezzi sempre più elevati degli immobili nelle aree centrali e semi-centrali, alla povertà ambientale delle periferie, storiche e recenti, si è manifestato il fenomeno della <rururbanizzazione> che consiste nell'insediamento nei comuni rurali di gente venuta dalla città, dove spesso continua a lavorare, [...]. La contiguità con il centro urbano si allenta; le nuove costruzioni sono disseminate radamente, gli elementi del paesaggio rurale tradizionale sono ancora numerosi. Il decentramento spesso richiama attività commerciali, di servizio, industriali, nonché grandi centri commerciali e ricreativi. Con la rururbanizzazione l'espansione acquista una maggiore forza: la città entra nell'ambiente rurale [...], proiettando i frammenti nell'area circostante (la *ville éparpillée* o *ville éclatée*). [...] il processo di urbanizzazione è diventato sempre più complesso e, oltre alle cosiddette <agglomerazioni>, che nascono dall'espandersi della città a macchia d'olio, ha dato origine anche ad altre tipologie quali le <città regione> [...] le <conurbazioni> (che negli Stati Uniti vengono chiamate <città metropolitane>), le <regioni urbane funzionali>, le <aree metropolitane>. [...] Le periferie dunque non si presentano più, come in passato, nettamente distinguibili dalle altre parti della città [...]. Vengono spesso definite per caratteri immateriali o per problemi che presentano, quali il malessere sociale o il degrado edilizio, la mancanza di strutture di aggregazione e di socializzazione. [...]» (Fumagalli, 2004, p. 490).

### 3 - L'uso del suolo

Quanto emerge dalla disamina dei brani citati, fa riflettere sull'importanza dell'identità territoriale: «Parafrasando la "bio-diversità" potremmo eleggere a tema d'interesse la diversità territoriale che si propone di definire "suolo-diversità". [...] La rappresentazione cartografica dell'uso del suolo produce poligoni irregolari (e disordinati quanto si vuole), ma ordinabili e coordinabili in forma di micro-regioni (dotate di omogeneità antropica) nell'ambito delle quali sarebbe auspicabile una sempre maggiore sinergia fra geografia umana e architettura. Nonostante i difetti del progetto *Corine Land Cover*, è ragionevole servirsene per costruire un protocollo preliminare d'indagine [...] l'aggiornamento relativo alle variazioni 2000-2006 è uno strumento di grande utilità anche per la scelta degli studi campione. Basandosi, infatti, sull'analisi delle sole variazioni del quinquennio, si possono raggruppare i comuni in base alla loro maggiore o minore tendenza a modificare il suolo, stabilendo eventualmente cosa si possa definire "consumo" sulla base di osservazioni concrete. Per scegliere le aree urbane maggiormente interessate alle variazioni dell'uso del suolo, il dato non sarà preciso, ma certamente la proporzione dà idea della distribuzione dei cambiamenti. Basandosi, dunque, sulla presenza e sulla distribuzione dei poligoni dal 1.1.1 all'1.3.3 e tenendo sempre come base i confini comunali [...] si sta costruendo un'illustrazione dell'uso/permeabilità dei suoli che costituisca una sorta di approfondimento, in scala maggiore, del progetto *Urban Soil Sealing* della EEA (2010a e 2010b), che fa riferimento a CLC.» (De Paoli e Candura, 2011)<sup>9</sup>.

---

<sup>9</sup> Si vedano, per approfondimenti relativi a CLC 2006: Sambucini, Bonora, Marinosci e Azzolini, (2008, pp. 1792-1794, *passim*); Sinanet e Ispra, *Dettagli tecnici sul progetto CLC 2006*.

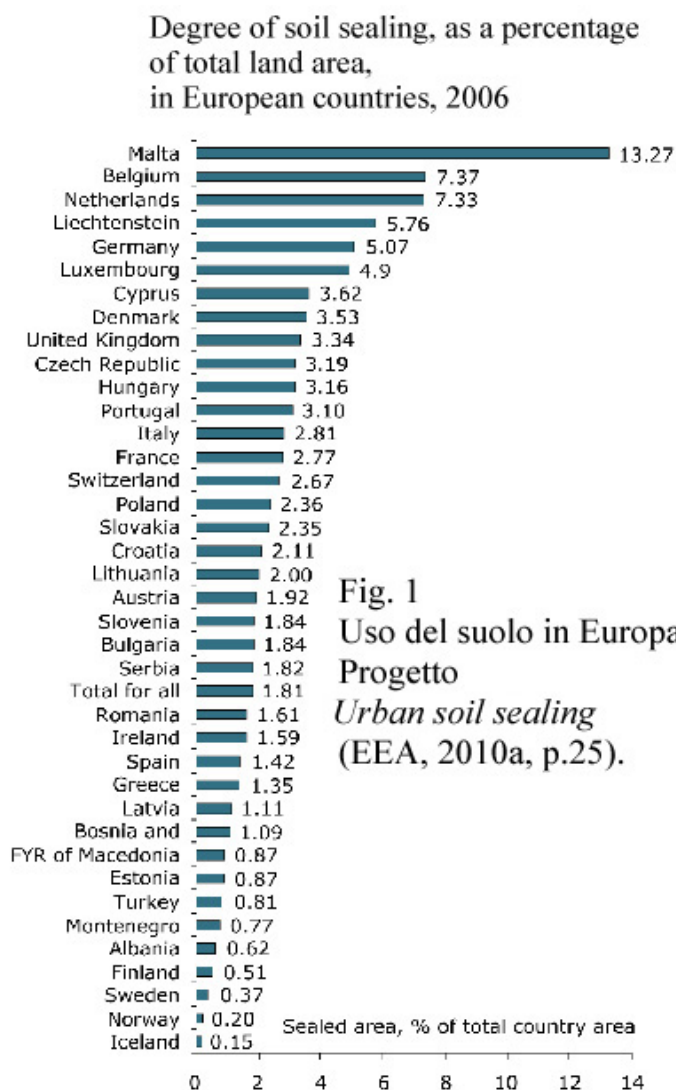
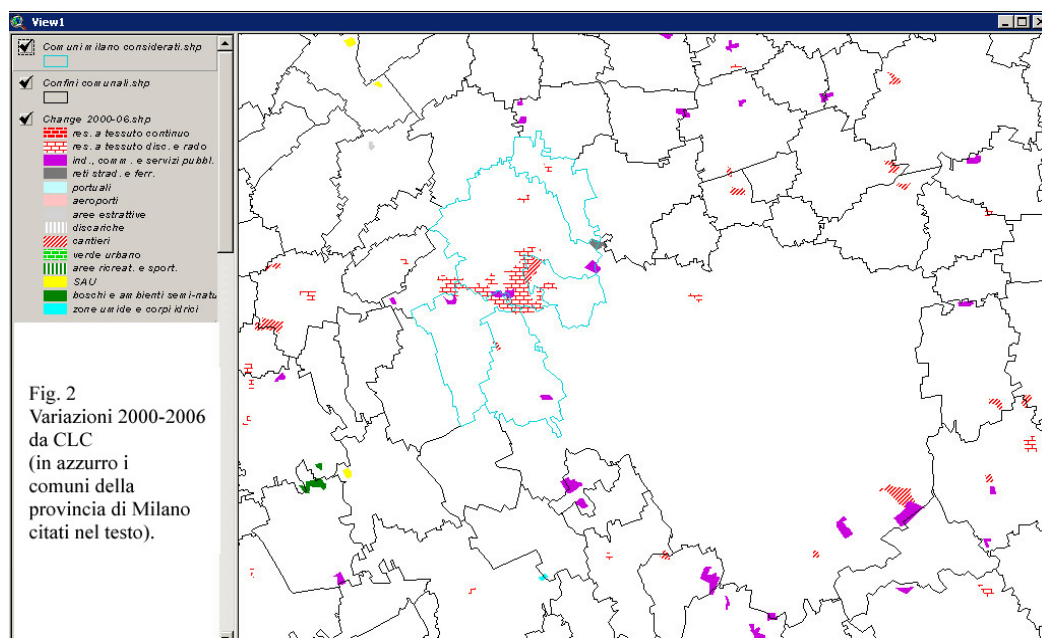


**Fig. 1**  
**Usa del suolo in Europa.**  
**Progetto**  
*Urban soil sealing*  
(EEA, 2010a, p.25).

Tenendo, dunque, presenti, gli studi della EEA, si è constatato che: «[...] EEA (2010 a e 2010b) utilizza due tipi di regionalizzazioni (sempre riferite a CLC). Nell'uno si limita a suddividere gli usi in *urban/rural land use pattern* (EEA, 2010b, p. 23) considerando territori relativamente estesi, mentre nell'altro considera ciò che noi definiamo i confini comunali all'interno dei quali misura ad esempio l'impermeabilizzazione dei suoli (EEA, 2010a, p. 21). In questa prima fase del presente progetto, si stanno formando alcuni studi-campione (basati sui confini amministrativi) che disegnano micro-regioni formate da quei comuni che presentino sensibili variazioni nel progetto CLC 2006. Il caso attualmente in studio riguarda sette comuni della provincia di Torino, (Settimo Torinese, Leini, Caselle Torinese, Borgaro Torinese, Venaria Reale, Druento, Pianezza e Collegno) che presentano una considerevole variazione nell'uso del suolo nel periodo 2006-2006.» (De Paoli e Candura, 2011). A quella citata, si è ora aggiunta la micro-regione costituita da sei comuni della provincia di Milano (Arese, Rho, Pero, Cornaredo, Settimo, Pregnanza M.).





In questi comuni (particolarmente a Rho e Pero) vi è una notevole concentrazione di variazioni nell'uso del suolo che ha generato un nucleo pressoché indipendente dalla storia urbana delle città satelliti di Milano (come pure dalle sue periferie)<sup>10</sup>.

<sup>10</sup> «Le periferie milanesi sono state caratterizzate nel tempo da notevoli trasformazioni, che rispecchiano il dinamismo della città. Di quella sorta con il primo sviluppo industriale e con la conseguente crescita demografica rimangono pochi segni percettibili: il carcere di San Vittore, tuttora esistente, Largo Marinai d'Italia, che segna l'area del vecchio mercato ortofrutticolo, i quartieri residenziali semicentrali edificati sulle aree dei primi stabilimenti e che ancora ne conservano il nome (quartiere Bianchi, De Angeli Frua, ecc.). L'annessione dei Corpi Santi e l'espansione lungo le maggiori direttrici hanno comportato l'inglobamento di vecchi borghi rurali, dei quali rimane qualche traccia nello schema topografico. All'inizio del Novecento sono sorti quattro grandi quartieri di edilizia popolare (Mac Mahon, Spaventa, Ripamonti, Tibaldi), di alcuni dei quali è possibile individuare la localizzazione grazie alle aree a verde che li hanno sostituiti. La moderna periferia di Milano è nata ai tempi dell'impetuosa crescita economica che ha seguito la seconda guerra mondiale: sotto la spinta di forti migrazioni interne e per evitare il sorgere di «quartieri autocostruiti» l'allora Istituto delle Case Popolari ha edificato grandi caseggiati di scarsa qualità, creando quartieri popolari omogenei per il reddito (basso) degli abitanti e per i problemi sociali. Si trovano per lo più nella fascia esterna dell'area comunale e sono raggruppati in quelli che vengono denominati i «quartieri», dove si concentra una popolazione omogenea per reddito, e che vengono generalmente additati come la causa principale del malessere e del degrado delle periferie. Tra questi quartieri si possono citare Gabrio Rosa, Omero, S. Siro, Quarto Oggiaro lungo via Eritrea, ampliato negli anni sessanta con i quartieri Aldini I e Aldini II, Fulvio Testi, Vialba (Vialba I e Vialba II) verso la via Val Trompia, Niguarda, Ponte Lambro, Viale Molise, Calvaire, Stadera, Gratosoglio (quartiere immenso con decine di palazzoni e otto torri, al limite meridionale della città), Lorenteggio; fuori dai confini cittadini, Rozzano, che con i suoi 37.000 abitanti e il quartiere ALER costruito negli anni sessanta è uno dei centri più popolosi della provincia. Le periferie non sono tuttavia solo aree di disagio sociale. A S. Siro, oltre al quartiere di case popolari di via Preneste («un quartiere popolare trasformato in un ghetto» lamentano i suoi abitanti), vi è l'insieme di residenze di alta qualità, con costi particolarmente elevati. Non tutti i «quartieri» della periferia poi presentano problemi: il quartiere Feltre, con i numerosi edifici di grandi dimensioni (che potrebbero essere qualificati come «palazzoni») ma di buona qualità, con accurata manutenzione, si trova in un'ottima posizione, circondato dal verde e con la sua stessa presenza sembra smentire quello che è stato chiamato «il romantico e passatista modello della villetta e del piccolo condominio, nefasto riguardo alla conservazione del paesaggio». Tra le eccezioni si possono anche citare il quartiere degli Olmi, posto tra la vecchia Baggio e il campo nomadi di Muggiano (unica area davvero a rischio) che è un'isola verde fatta di case popolari ben risistemate, giardini e piazze pulite, scuole e servizi pubblici che funzionano. L'area Farini-Lancetti è in

In questa fase della ricerca, i dati che man mano emergono (con l'ausilio di CLC) confermano l'utilità delle tradizionali definizioni geografiche, quali "area metropolitana" (Scaramellini, 2004) e "città satellite" (Fumagalli, 2004a), non solo come mere espressioni accademiche ma anche come supporto nella ricerca di una tassonomia territoriale utile a programmare interventi veri e propri a favore di un miglioramento nell'uso del suolo. «Onde poter pensare ad interventi atti a migliorare l'uso del suolo, infatti, è necessario disporre di indicatori che facilmente ne illustrino le caratteristiche. Volendo, ad esempio, progettare la collocazione di sistemi di captazione della radiazione solare, occorre avere almeno due tipi di dati. 1) La dispersione delle superfici urbanizzate. 2) La presenza di superfici artificiali ove si possa intervenire ponendo sugli edifici coperture progettate per la captazione della radiazione solare. Nel primo caso, dal database CLC 2006 si può ottenere un primo indicatore del rapporto fra numero di poligoni 1.1.2 e 1.1.1 (rispettivamente zone residenziali a tessuto discontinuo e zone residenziali a tessuto continuo). Il dato, pur riferito solo al numero dei poligoni e non alle loro dimensioni, consente tuttavia di calcolare un valore nazionale (8,01) al quale paragonare di volta in volta dati regionali, provinciali e comunali, onde avere una prima idea della dispersione dell'uso urbano. Ad esempio, la provincia di Torino ha un indicatore di dispersione dell'urbanizzato (17,125) sensibilmente elevato rispetto a quello nazionale ed anche rispetto ad altre province quali Milano (4,23) e Pavia (11,125).. I valori ricavati non sono certo una sorpresa, vista la morfologia territoriale e la storia urbana delle province citate, tuttavia è importante disporre di una misura di partenza e (come si è detto) di termini di paragone. Un'elevata dispersione comporta evidentemente maggiori problemi di coordinamento delle migliori che si desidera apportare all'uso del suolo, pertanto questo dato di partenza può rivelarsi utile per predisporre adeguate normative. 2) Quanto al secondo tipo di dato (le presenza di superfici artificiali sulle quali si possano collocare coperture progettate per la captazione della radiazione solare), anche in questo caso CLC 2006 può essere utilizzato attraverso l'analisi dei poligoni 1.2.1 che indicano la presenza di strutture industriali e commerciali. Su queste ultime, infatti, sarebbe opportuno progettare la collocazione di coperture per la captazione delle radiazioni solari. Una volta individuate le macro-aree, il *database* può essere implementato attraverso l'inserimento di progetti AutoCAD. In altre parole, il progetto *in fieri* si propone di ragionare sullo sfruttamento di superfici artificiali nelle quali è possibile intervenire senza alterare il tipo di uso del suolo.» (De Paoli e Candura, 2011).

---

via di trasformazione; molti capannoni dismessi vengono trasformati in spazi per concerti e per la vita notturna; vicino all'area della Bovisa, dove sorgono il nuovo Politecnico e il polo direzionale AEM. Il nuovo quartiere Certosa è in costruzione su un'area occupata sino a pochi anni fa dagli impianti di una raffineria: si estende per circa 45 ettari con palazzi, servizi e un grande parco di 27 ettari. La Bicocca risente in modo positivo della presenza massiccia degli edifici universitari. Con il tempo, all'espansione graduale della città con movimento centrifugo si è aggiunto un insieme di trasformazioni assai più complesse. I comuni confinanti sono stati interessati, a volte anche in modo assai pesante, dallo sviluppo di Milano, che in questo entroterra, divenuto di fatto una continuazione della periferia, ha decentrato molti quartieri dormitorio, l'aeroporto, centri congressi, la Fiera Campionaria, *megastore*, il Centro Direzionale Colleoni ad Agrate, ecc.; assieme ad essi anche città satelliti di buon livello qualitativo quali Milano 2 a Segrate, Milano 3 a Basiglio, Milano Fiori ad Assago, Milano Nord. Questi comuni, che ospitano in misura crescente pendolari di ceto medio e medio alto che lavorano (e non solo) a Milano, si percepiscono tuttavia come <periferie> dove la vicina metropoli tende ad esportare problemi di traffico, di inquinamento, di microcriminalità. Nel quadrante sud-occidentale [...] l'edificato si estende lungo i maggiori assi di comunicazione, rispettivamente verso Vigevano (la ferrovia per Mortara, la provinciale lungo il Naviglio Grande, la superstrada <Vigevanese Nuova>) e verso Genova (autostrada dei Fiori e statale 35). La superstrada Vigevanese Nuova, attorno alla quale sorgono i quartieri residenziali a Cesano Boscone e a Trezzano (<Quartiere Zincone>), ha attratto attività produttive e commerciali. Presso lo svincolo dell'autostrada dei Fiori è sorto il grande complesso per il terziario Milano Fiori; sono visibili anche i due grandi <quartieri> del Gratosoglio e di Rozzano. Verso nord la ferrovia del Gottardo è stata determinante nello sviluppo industriale milanese; in questa direzione la trama dell'edificato ha inglobato numerosi centri minori [...] dei quali non restano che labili tracce, mentre Sesto S. Giovanni è ormai unita a Milano senza soluzioni di continuità. Cinisello Balsamo e Milanino – quest'ultimo unico caso di città giardino in Italia – sono due esempi di grandi quartieri in comuni limitrofi.» (Fumagalli, 2004a, pp. 490-491).

## Bibliografia

- Bellicini L. e Ingersoll R. (2001), *Periferia italiana*, Melteni, Roma.
- Bezoari G. e Selvini A. (2007), "La cartografia e le facoltà di architettura", in *La Cartografia*, 5 (2007), pp. 24-31.
- Calendario Atlante De Agostini 2010*, IGDeA, Novara, 2009.
- Calendario Atlante De Agostini 2011*, IGDeA, Novara, 2010.
- Candura A. R. (1997-1998), *Il problema del consumo dello spazio e dell'occupazione insediativa del suolo: il caso di Pavia*, tesi di dottorato, Università degli Studi di Sassari, dottorato di ricerca in Geografia ambientale.
- Candura A. R. e Lo Tauro A. (2005), "CLC 2000 e didattica universitaria: il caso dell'Oltrepò pavese", in *Atti 8a Conferenza Italiana UtentiESRI*, Roma, ESRI, pp. 1-5 ([www.esriitalia.it](http://www.esriitalia.it)).
- Colamonico C. (a cura di) (1956-63), *Carta della Utilizzazione del Suolo d'Italia*, 26 fogli (21 simboli a colori) al 200.000, CNR- Direzione Generale del Catasto e dei SS.TT.EE.-TCI.
- Colamonico C., Corna Pellegrini G., Pracchi R., Beretta P. e Migliorini E. (a cura di) (1956-1980), *Memorie illustrative della carta dell'utilizzazione del suolo*, 16 volumi.
- Cristaldi F. (1994), *Per una delimitazione delle aree metropolitane. Il caso di Roma*, Franco Angeli, Milano.
- D'Amico G. e Sabato P. (2008), "Modelli matriciali finalizzati alla valutazione della vulnerabilità del territorio", in *CAD GIS Magazine*, 5 (2008), pp. 39-41.
- de Blij H. J., Muller P. O. and WinklerPrins A. (2009), *The World Today: Concepts and Regions in Geography*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken (NJ).
- De Paoli O. e Candura A.R. (2010), "L'impiego di tecnologie eco-compatibili: un project GIS per la descrizione delle conseguenze sull'uso del suolo", in *Atti della 14a Conferenza Nazionale ASITA*, Milano, ASITA, pp. 1-6 ([www.asita.it](http://www.asita.it)).
- De Paoli O. e Candura A.R. (2011), "Aree periurbane ed espansione edilizia", in corso di stampa in *Atti del Convegno annuale della Associazione Italiana di Cartografia. 150 anni di cartografia in Italia*, Modena, 11-13 maggio 2011.
- De Paoli O., Montacchini E. e Candura A. R. (2005), "Tecnologie per la riduzione dell'impatto ambientale: un project GIS come database di riferimento", in *Atti della 9a Conferenza Nazionale ASITA*, vol. I, Artestampa, Varese, pp. 921-926 ([www.asita.it](http://www.asita.it)).
- De Paoli O., Montacchini E. e Candura A. R. (2006), "Uso del suolo e tecnologie eco-compatibili su piattaforma GIS: la Lombardia", in *Atti 9a Conferenza Italiana UtentiESRI*, Roma, ESRI, pp. 1-5 ([www.esriitalia.it](http://www.esriitalia.it)).
- De Paoli O., Montacchini E., Restaino D., Treves V. e Zich U. (2006), *La rappresentazione tecnologica. Scale dimensionali e dettagli costruttivi*, Edizioni Mariani, Milano.
- De Paoli O. e Mezzabotta D. (2010), *Il quartiere Santa Monica a Milano. Casi studio*, Araba Fenice, Boves (CN).
- EEA (European Environment Agency) (2007), "CLC 2006 Technical Guidelines", in *EEA Technical Report*, 17 (2007), pp. 1-66.
- EEA (European Environment Agency), (2010a), *The European Environment. State and Outlook 2010. Land Use*, EEA, Copenhagen .
- EEA (European Environment Agency) (2010b), *The European Environment. State and Outlook 2010. Urban Environment*, EEA, Copenhagen.
- Fouberg H. H., Murphy A. B. e de Blij H. J. (2010), *Geografia umana. Cultura, società, spazio*, (III ed. it. a cura di A.R. Candura), Zanichelli, Bologna.
- Fumagalli M. (2004a), "Periferie delle grandi città", in *Italia. Atlante dei Tipi Geografici*, IGMI, Firenze, pp. 490-492.
- Fumagalli M. (2004b), "Periferie città medie e minori", in *Italia. Atlante dei Tipi Geografici*, IGMI, Firenze, pp. 493-496.
- Garreau J. (1991), *Edge City. Life on the New Frontier*, Anchor Books, Doubleday, New York, 1991.

- Gottmann J. (1961), *Megalopolis. The Urbanized Northeastern Seaboard of the United States*, The MIT Press, Cambridge; ed. it. (a cura di L. Gambi) (1970), *Megalopoli. Funzioni e relazioni di una pluri-città*, Einaudi, Torino.
- ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) e SINAnet (Sistema Informativo Nazionale Ambientale) (2010), *Analisi dei cambiamenti della copertura ed uso del suolo in Italia nel periodo 2000-2006*, Roma.
- Mazza L. (1992), "Pieno e vuoto. La risorsa spazio in Padania", in *La Padania: una regione italiana in Europa*, Edizioni della Fondazione Giovanni Agnelli, Torino, pp. 301-344.
- Mioni A. (1985), *Recupero ambientale : metodologie d'intervento per aree periurbane : alcuni casi di studio lombardi*, IREr, Milano.
- OCS (Osservatorio Città Sostenibili) (2007), *Frangere periurbane*, (a cura di C.Socco, Andrea Cavaliere e S. M. Guarini), Dipartimento Interateneo Territorio, Politecnico e Università di Torino, Working paper P12/07 (2007), pp.1-11 ([www.ocs.polito.it/biblioteca/wp/paesaggio/wp\\_p1207.pdf](http://www.ocs.polito.it/biblioteca/wp/paesaggio/wp_p1207.pdf)).
- Rocca G. (2011), *Il sapere geografico tra ricerca e didattica*, Collana «Geografia e organizzazione dello sviluppo territoriale» (n. 55), Pàtron, Bologna.
- Sack R.D. (1986), *Human Territoriality: its Theory and History*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Sambucini W., Bonora N., Marinosci I. e Azzolini F. (2008), "La realizzazione in Italia del progetto europeo Corine Land Cover 2006 nell'ambito del Land Monitoring FTSP dell'iniziativa GMES", in *Atti della 12a Conferenza Nazionale ASITA*, vol. II, Artestampa, Varese, pp. 1791-1796 ([www.asita.it](http://www.asita.it)).
- Sambucini W., Marinosci I., Bonora N. e Chirici G. (2010), *La realizzazione in Italia del progetto Corine Land Cover 2006, ISPRA Rapporti*, 131/2010.
- Salvemini M. (2009), "Stato dell'arte dell'Informazione Geografica in Europa", in *Geomedia*, 2 (2009), pp. 40-41.
- Scaramellini G. (1990), *Funzioni centrali funzioni metropolitane reti urbane*, Franco Angeli, Milano.
- Scaramellini G. (2004), "Aree metropolitane", in *Italia. Atlante dei Tipi Geografici*, IGMI, Firenze, pp. 482-489.
- Sinanet e Ispra, *Dettagli tecnici sul progetto CLC 2006*.
- Spinelli G. (1991), "La ricerca sulle aree periurbane in Italia", in Scaramellini G., (a cura di), *Città e poli metropolitani in Italia*, Franco Angeli, Milano.
- Tosi A. (a cura di) (1999), *Degrado ambientale periurbano e restauro naturalistico*, Franco Angeli, Milano.
- Vallega A. (2004), *Le grammatiche della Geografia*, Collana «Geografia e organizzazione dello spazio territoriale» (n. 42), Pàtron, Bologna.
- Zerbi M. C. (1979), *Geografia delle aree periurbane. Il Pavese*, Collana: «Studi e ricerche sul territorio», Unicopli, Milano.

## **Generazione radargrammetrica di modelli digitali del terreno da dati SAR ad alta risoluzione: applicazioni a COSMO-SkyMed**

Paola Capaldo, Mattia Crespi, Francesca Fratarcangeli, Andrea Nascetti, Francesca Pieralice

Area di Geodesia e Geomatica, DICEA, Università degli Studi di Roma "La Sapienza"

Via Eudossiana 18, 00184 Roma, Tel. e Fax 0644585097

<paola.capaldo,mattia.crespi,francesca.fratarcangeli,andrea.nascetti,francesca.pieralice>@uniroma1.it

### **Introduzione**

La recente disponibilità di sensori SAR (Synthetic Aperture Radar) ad alta risoluzione quali COSMO-SkyMed (Italia), TerraSAR-X (Germania) e RADARSAT-2 (Canada) sta offrendo nuovi ed interessanti sviluppi per le applicazioni geomatiche: generazione di DSM (Digital Surface Model) e di DTM, produzione di ortofoto, change detection, analisi spaziali. In particolare si sono aperte nuove possibilità per l'estrazione di DSM per via radargrammetrica grazie alla elevata risoluzione in ampiezza raggiungibile in modalità Spotlight (fino ad 1 m).

E' ben noto che la procedura fino ad ora maggiormente utilizzata per la produzione di DSM da immagini SAR è basata sulla metodologia interferometrica, che sfrutta il loro contenuto informativo in fase, grazie alla lunghezza d'onda centimetrica del segnale radar. Tale procedura si fonda sulla coerenza di due o più immagini, generalmente elevata ove la riflettività del suolo si mantiene costante nel tempo; altrove (ad esempio sulle zone coperte da vegetazione, ove la riflettività varia anche sensibilmente su brevi intervalli di tempo) la procedura presenta maggiori difficoltà di applicazione.

Una seconda procedura per la produzione di DSMs da immagini SAR, nata negli anni '50 per rilievi radar da terra e da aereo, è invece basata sulla metodologia radargrammetrica, che sfrutta il loro contenuto informativo in ampiezza. Tale procedura, del tutto analoga a quella fotogrammetrica basata su orientamento e *matching*, è stata fino ad ora scarsamente applicata alle immagini SAR da satellite a causa della loro bassa risoluzione (decine di metri). Attualmente diventa interessante comprendere le rinnovate potenzialità della procedura radargrammetrica grazie all'alta risoluzione in ampiezza delle immagini SAR acquisite dai nuovi sensori quali COSMO-SkyMed, TerraSAR-X e RADARSAT-2.

E' stata pertanto indagata la potenzialità di generazione di DSM per via radargrammetrica tramite coppie di immagini acquisite da COSMO-SkyMed in modalità Spotlight, aventi risoluzione nominale di 1 m.

A tal fine sono stati implementati gli algoritmi di orientamento e di *matching* nel software SISAR (Software per Immagini Satellitari ad Alta Risoluzione), sviluppato presso l'Area di Geodesia e Geomatica dell'Università di Roma "La Sapienza".

### **Modello radargrammetrico**

La procedura radargrammetrica è innanzitutto basata sull'orientamento di due (o più) immagini SAR della medesima zona acquisite da posizioni diverse. Il modello di orientamento è stato implementato a partire dalla coppia di classiche equazioni presentate in (Leberl, 1990), considerando che le immagini sono in configurazione *Zero-Doppler* (acquisizione in direzione ortogonale all'orbita) e che le informazioni orbitali (*state vectors*) e quelle relative al dato SAR (*near range*, *pulse repetition frequency*, *start time*) sono fornite nel file di metadati.

## Generazione del DSM

L'algoritmo di *matching* implementato nel software SISAR è basato su un classico *Least Squares Matching*, opportunamente guidato però da vincoli geometrici derivanti dall'orientamento della stereocoppia, secondo una procedura originale oggetto di una domanda di brevetto presentata recentemente dall'Università di Roma "La Sapienza".

I test per valutare l'accuratezza raggiungibile dall'algoritmo di generazione di DSM sono stati effettuati su stereocoppie acquisite sulla zona di Merano (Bolzano-Alto Adige) (Figura 1), ove è disponibile gratuitamente un DTM LiDAR; il confronto è stato effettuato tramite il software DEMANAL, sviluppato dal Prof. K. Jacobsen - Leibniz University Hannover (Germania).

L'area scelta è caratterizzata da una zona scoscesa di foresta e da una zona pianeggiante coperta prevalentemente da campi coltivati e da piccole zone urbanizzate.

L'accuratezza, in termini di RMSE, è dell'ordine di 3 m nell'area agricola, valore in linea con le potenzialità geometriche del dato SAR verificate nella precedente fase di orientamento. E' interessante notare che nell'area di foresta il DSM viene generato senza particolari problemi e che il valore del *bias* è di circa 15 m, e rappresenta approssimativamente l'altezza media degli alberi; nel confronto si paragona infatti il DSM estratto (che include gli alberi) con il DTM LiDAR riferito al terreno.

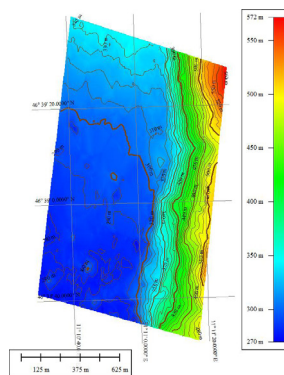


Figura 1 – DSM della zona di Merano estratto con il software SISAR.

## Conclusioni

I test effettuati hanno rilevato le significative potenzialità della procedura radargrammetrica per la generazione di DSM a partire da immagini SAR ad alta risoluzione, quali quelle messe a disposizione dalla costellazione COSMO-SkyMed in modalità Spotlight.

Tali risultati appaiono interessanti considerando che, attualmente, sono disponibili in letteratura analoghi risultati di pochi altri gruppi di ricerca (Toutin, 2010; Raggam et Al., 2011) che hanno sviluppato algoritmi per la generazione radargrammetrica di DSM da SAR ad alta risoluzione.

Sono evidentemente necessari ulteriori approfondimenti e sperimentazioni, sia per indagare le potenzialità con altre coppie di immagini Spotlight e anche Stripmap (risoluzione nominale di 3 m), sia per confrontare le prestazioni di COSMO-SkyMed con quelle di TerraSAR-X e RADARSAT-2.

## Nota

Una presentazione più completa dell'algoritmo (ad esclusione di quello di *matching*, oggetto di brevetto) e dei risultati ottenuti è disponibile in (Capaldo et Al., 2011).

## Bibliografia

- P. Capaldo, M. Crespi, F. Fratarcangeli, A. Nascetti, F. Pieralice (2011), "High Resolution SAR Radargrammetry. A first application with COSMO-SkyMed SpotLight Imagery", IEEE Geosc. Rem. Sens. Lett. (in press).
- F.W. Leberl (1990), *Radargrammetric image processing*, Artech House, Norwood, USA.
- T. Toutin and R. Chenier (2010), "3-D radargrammetric modeling of RADARSAT-2 Ultrafine Mode: preliminary results of the geometric calibration", IEEE Geosc. Rem. Sens. Lett.: 6, 2.
- R. Perko, H. Raggam, J. Deutscher, K. Gutjahr and M. Schardt (2011), "Forest Assessment Using High Resolution SAR Data in X-Band", Remote Sens.: 3, 792-815; doi:10.3390/rs3040792.



## **Un sistema informativo interoperabile per la gestione evoluta del servizio idrico integrato**

Michele Cappellesso (\*), Enrico Conchetto (\*), Ivano Boscolo (\*\*), Vincenzo Giannotti (\*\*)

(\*) AATO Laguna di Venezia, Via G. Pepe 102, 30172 Mestre (Ve)

(\*\*) Università IUAV di Venezia, S. Croce 191, 30135 Venezia

### **Riassunto**

A seguito dell'entrata in vigore della Legge Galli 36/94 è stato introdotto il concetto di Servizio Idrico Integrato (SII). Esso prevede che i servizi di captazione, adduzione, distribuzione della risorsa idropotabile e la raccolta e il convogliamento dei reflui fognari, la loro depurazione e infine lo scarico in corpo idrico debbano avvenire in modo integrato. La L.R. 5/98 del Veneto, conseguentemente, definisce l'estensione degli Ambiti Territoriali Ottimali al fine di superare la precedente situazione di gestione frammentaria del servizio.

L'Autorità d'Ambito Territoriale Ottimale "Laguna di Venezia" e l'Università IUAV di Venezia hanno sviluppato nell'ultimo triennio il Sistema Informativo delle Risorse Idriche con funzioni di Osservatorio (Sirio), consultabile alla pagina web [www.sirio-sici.it](http://www.sirio-sici.it). Esso rappresenta lo strumento con cui Aato supporta le proprie attività relative al SII (i servizi di captazione, adduzione, distribuzione della risorsa idropotabile e la raccolta e il convogliamento dei reflui fognari, la loro depurazione e infine lo scarico in corpo idrico debbano avvenire in modo integrato) nel territorio di competenza, che comprende 25 Comuni, dei quali 20 ricadenti nella provincia di Venezia e 5 nella provincia di Treviso.

Le informazioni trattate dal Sirio sono riconducibili alle attività svolte dall'Autorità d'Ambito, suddivisibili in tre macro categorie:

- pianificazione del SII;
- monitoraggio dell'attuazione degli obiettivi del Piano d'Ambito;
- rendicontazione sui livelli di servizio e sull'operato.

L'esercizio di dette funzioni comporta un approccio a varie tematiche, non necessariamente collegate tra loro e non sempre direttamente territorializzabili, motivo per il quale il Sirio è stato sviluppato con appositi specifici moduli che accompagnano i processi di acquisizione, trasformazione e trasmissione delle informazioni, nonché i processi decisionali.

Poiché il processo di gestione del SII coinvolge una pluralità di soggetti sia sul piano tecnico che decisionale, il Sirio è stato realizzato per soddisfare alcuni requisiti di interoperabilità (ispirati alla Direttiva 2007/2/EC "INSPIRE" sulla condivisione dei dati geografici) attraverso un sistema di interscambio che si basa su una architettura distribuita che integra le banche dati di Aato con quelle rese disponibili dagli attori tra i quali, in primo luogo, il Gestore e la Provincia di Venezia.

### **Abstract**

The implementation of the Galli Law (number 36, year 1994) introduced the new concept of Integrated Water Service in which all the services of collection, supply, distribution of drinkable water and all the services of wastewater collection, conveyance, treatment and discharge into the water body, should be in an integrated way.

Thereafter, a Veneto regional law (number 5, year 1998) defined the scope of the Authorities for the Optimal Territorial Areas (Aato), in order to overcome the previous fragmented situation in the management of the water service.



In the last three years the Aato-Lagoon of Venice and the University of Venice IUAV have developed a new Water Resources Information System; it is called SIRIO and it is accessible on [www.sirio-sici.it](http://www.sirio-sici.it). It is the means by which Aato manages its main activities on the Integrated Water Service in its area of jurisdiction, which includes 25 municipalities of which 20 are within the province of Venice and 5 in the province of Treviso.

The information processed by the SIRIO can be traced to the activities of the Authority. They are divided into three main categories:

- planning of Integrated Water Service;
- monitoring of the objectives of the Area Plan;
- reporting on service levels.

Since the implementation of these activities involves a multidisciplinary approach, SIRIO has been achieved by developing specific modules that support the different processes of acquisition, processing and transmission of information and decision making.

Moreover, since the process of integrated water management involves a wide range of subjects both technical and decision-making, SIRIO has been designed with the aim to satisfy certain requirements for interoperability, according to the Directive 2007/2/EC "INSPIRE" on sharing of geographic data. This objective was achieved by developing a system of data exchange, based on a distributed architecture, through which different databases are integrated with those of AATO. Mainly the databases the province of Venice and of the public utility company.

### Il settore di applicazione del Sirio

L'Autorità d'Ambito Territoriale Ottimale "Laguna di Venezia" (in azzurro nella figura 1) è l'autorità decentrata che svolge nel territorio di competenza le funzioni di pianificazione, governo e controllo dei servizi di acquedotto, fognatura e depurazione. L'Aato Laguna di Venezia è stata costituita il 29 luglio 1998 nella forma di Convenzione tra enti locali, come previsto dalla Legge Regionale 5/98. Il territorio di competenza comprende 25 Comuni, dei quali 20 ricadenti nella provincia di Venezia e 5 nella provincia di Treviso.

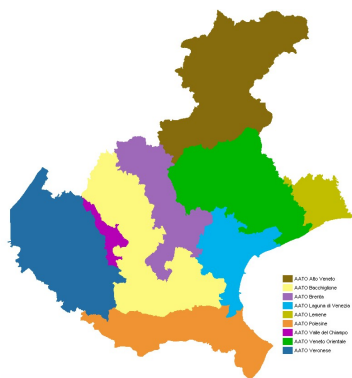


*Figura 1 – Confini degli ATO nel Veneto.*

### Compiti istituzionali delle Aato

L'AATO rappresenta la Pubblica Amministrazione che garantisce ai cittadini nei territori di propria competenza la corretta gestione del servizio idrico integrato ed il perseguimento degli obiettivi di tutela qualitativa e quantitativa della risorsa idrica.

E' netta quindi la distinzione di ruoli fra l'Aato, che definisce gli obiettivi, approva e controlla la realizzazione del Piano d'Ambito, e il Gestore che organizza il servizio per realizzare gli

obiettivi del Piano. L'Aato pertanto opera nella verifica del raggiungimento degli obiettivi del Piano d'Ambito, attraverso il monitoraggio dei piani triennali degli interventi, e nell'applicazione della tariffa relativa al consumo dell'acqua. Una *Convenzione* di gestione (contratto di servizio tra l'Autorità d'Ambito ed il soggetto Gestore) ha poi il compito di fissare gli obiettivi e gli obblighi della gestione e stabilisce le modalità di verifica e d'intervento dell'Autorità d'Ambito per assicurare il raggiungimento dei risultati previsti. Il rapporto del Gestore con i cittadini è regolato, invece, dalla *Carta dei servizi* che stabilisce gli obblighi e le responsabilità del Gestore (livelli di qualità del prodotto e del servizio, tariffa, incrementi di efficienza, garanzie) e i diritti degli utenti (definizione di standard di sicurezza e qualità, informazione, continuità del servizio).

### La pianificazione d'ambito

Il Piano d'Ambito è lo strumento di pianificazione per eccellenza dell'Aato; si tratta di un documento che guida tutta l'attività decisionale dell'Autorità d'Ambito nell'organizzazione del Servizio Idrico Integrato. In esso l'Aato delinea le linee di intervento necessarie ad assicurare una gestione efficiente, efficace ed economica del Servizio Idrico su una base temporale trentennale. Dal punto di vista dell'utenza, il Piano d'Ambito è importante perché definisce il piano economico-finanziario e determina la tariffa. In sintesi, il Piano d'Ambito deve prevedere:

- analisi e ricognizione di reti, impianti ed infrastrutture adibiti al Servizio Idrico Integrato;
- definizione degli standard di qualità del servizio, degli investimenti e delle tariffe;
- controllo della corretta applicazione della tariffa e attuazione degli investimenti;
- affidamento della gestione dei Servizi Idrici nell'Ambito Ottimale, regolato dai contenuti della Convenzione, del Piano d'Ambito e della normativa vigente.

### Il sistema informativo partecipato

Il Sistema Informativo delle Risorse Idriche con funzioni di Osservatorio (Sirio) è raggiungibile alla pagina web <http://www.sirio-sici.it> e rappresenta, per l'Aato Laguna di Venezia, lo strumento a supporto di tutte le proprie attività relative al Servizio Idrico Integrato nel territorio di competenza. L'esercizio delle funzioni legate al ciclo integrato dell'acqua comporta un approccio a tematiche varie non necessariamente collegate tra loro e non sempre direttamente territorializzabili; le principali sono schematizzate nella figura 2.



Figura 2 – Schema delle principali tematiche correlate al Servizio Idrico Integrato.

A supporto del quadro conoscitivo generato dal flusso di informazioni territoriali e non, che transitano attraverso l'Autorità d'Ambito o che da essa vengono prodotte, è stato sviluppato il Sirio che deve accompagnare tutti i processi di omogeneizzazione, aggregazione, trasformazione e trasmissione delle informazioni.

Le informazioni trattate dal Sirio sono prodotte nel corso della realizzazione delle varie attività che gravitano attorno al servizio idrico integrato, le quali sono classificabili in tre macro categorie:

- pianificazione del Servizio Idrico Integrato;
- monitoraggio dell'attuazione degli obiettivi del Piano d'Ambito;
- rendicontazione sui livelli di servizio e sull'operato.

Tali attività sono supportate da appositi moduli del Sirio, una parte dei quali viene brevemente descritta nelle rispettive Schede che seguono.

L'homepage del portale è strutturata essenzialmente in 4 sezioni: *Mappe, Partecipazione, Monitoraggio del servizio, Gestione*.

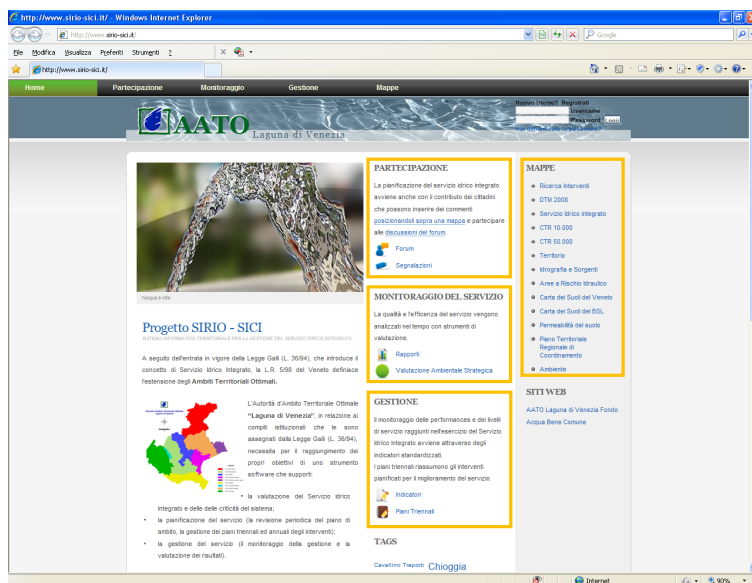


Figura 3 – Homepage del Sirio (url <http://www.sirio-sici.it>).

Ciascuna sezione fa riferimento alle tre macro categorie su menzionate (di pianificazione, monitoraggio e rendicontazione) in modo differente. In particolare:

- nella sezione **Mappe**, sono consultabili le cartografie tematiche relative al territorio di competenza di supporto alla pianificazione del Servizio Idrico Integrato;
- la sezione **Partecipazione**, è dedicata ai canali di comunicazione da e verso il cittadino o le associazioni di categoria;
- **Monitoraggio del servizio**, è la sezione dedicata a tutte le varie forme di reportistica supportate dal sistema nei confronti dei vari attori che a vario titolo sono coinvolti dal Servizio Idrico Integrato;
- la sezione **Gestione**, è dedicata all'Aato e al Gestore e garantisce sia l'immissione nel sistema delle variabili alfanumeriche necessarie al controllo dell'andamento della gestione del Servizio Idrico Integrato che la formulazione dei piani triennali degli interventi ed il conseguente controllo della loro realizzazione.

L'accesso al Sirio è supportato da un *sistema di accreditamento* di tipo gerarchico-funzionale che consente a ciascun "attore" di accedere alle varie sezioni con i privilegi tipici del gruppo di utenti cui è stato attribuito a seguito della registrazione al portale.

Il Sirio è stato creato sviluppando specifici moduli di gestione delle seguenti funzioni:

- navigazione e consultazione cartografica (*webgis*);
- condivisione di banche dati geografiche in un contesto di totale interoperabilità;
- *data entry* da parte di Aato e Gestore di variabili alfanumeriche che alimentano il sistema di valutazione e monitoraggio del SII;
- definizione, gestione e monitoraggio dei piani triennali degli interventi in attuazione del Piano d'Ambito attraverso interfaccia cartografica;
- esportazione in fogli elettronici delle schede intervento e dei piani triennali;
- supporto alla VAS in itinere (monitoraggio degli effetti che il Piano d'Ambito produce sull'ambiente) attraverso *reporting* grafico e alfanumerico;
- informazione ai cittadini sullo stato dell'arte del servizio idrico integrato, sullo stato di realizzazione dei piani triennali e sui servizi forniti;
- realizzazione di un *social network* (rete sociale di ascolto e partecipazione) per la gestione di segnalazioni da parte dell'utenza attraverso il geotagging e di un forum a supporto dei processi di Agenda21;
- realizzazione di moduli di reportistica e tagcloud per la gestione del flusso di informazioni verso l'esterno (Enti e cittadini) funzionale ai questionari CONVIRI, monitoraggio VAS, articolazioni tariffarie ecc.;
- stampa di dati e/o di cartografia.

---

#### SCHEDA I

### QUADRO CONOSCITIVO CONDIVISO

La conoscenza approfondita del territorio in cui opera l'Autorità d'Ambito e la consapevolezza della sua continua evoluzione sono requisiti fondamentali, per l'Autorità, al fine di una esauriente verifica della corretta applicazione del Piano d'Ambito. Per questa ragione una delle più importanti attività realizzate da Aato riguarda proprio la composizione del Quadro Conoscitivo completo del territorio in gestione. Il Quadro Conoscitivo deriva dalla collaborazione di più soggetti che mettono a disposizione le proprie informazioni; il suo utilizzo interessa, inoltre, una pluralità di soggetti che possono usufruire di queste conoscenze. Per tali ragioni il Quadro Conoscitivo viene definito "condiviso".

La condivisione è data dalla realizzazione di una architettura software, definita "interoperabile", ossia capace di garantire la comunicazione e l'interscambio di dati tra sistemi informativi diversi. La realizzazione dell'interoperabilità tra il sistema di Aato Laguna di Venezia e i sistemi di altri soggetti, per esempio la società VERITAS S.p.A., è uno degli aspetti più interessanti che contraddistingue il Sirio, la cui interfaccia di accesso ai dati cartografici è riprodotta nella figura 4. Questa interfaccia consente di consultare diverse categorie di dati cartografici differenti (dati di rete, dati ambientali e territoriali, dati legati alla pianificazione ecc.), in rapporto alla tipologia di utente connesso, che possono essere sovrapposti a formare dei temi specifici.

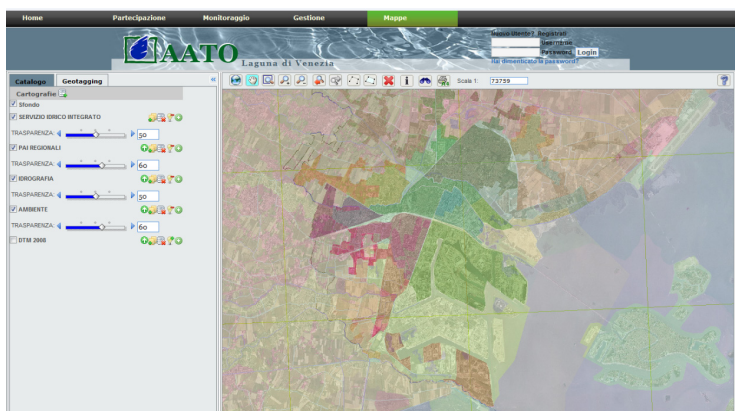


Figura 4 – Composizione di tematismi mediante sovrapposizione di livelli cartografici.

## SCHEDA 2

### INTEROPERABILITA'

La condivisione tra gli enti pubblici dei dati ambientali geografici da loro prodotti è prevista e regolata dalla Direttiva 2007/2/EC “INSPIRE”, recepita dall’Italia con il D. Lgs. 32 del 27/01/2010. Affinché la condivisione sortisca il massimo effetto è necessario che essa avvenga attraverso un livello di «interoperabilità», con tale termine si intende sia la possibilità di ricombinare i set di dati territoriali, sia, per i servizi, di interagire senza interventi manuali ripetitivi, in modo da ottenere un risultato coerente e che il valore aggiunto dei set di dati e dei servizi ad essi relativi venga potenziato. L’assenza di interoperabilità comporta dati eterogenei in formati diversi che per gli utenti si traduce nel dover identificare, interpretare, estrarre e processare i dati di cui hanno bisogno. Il Sirio realizza il concetto di interoperabilità attraverso un sistema di interscambio basato su una architettura distribuita integrando le banche dati Aato con quelle rese disponibili dagli attori tra i quali, in primo luogo, il Gestore. La figura 5 presenta lo schema di architettura a supporto delle esigenze di interscambio dati tra Aato e Gestore; l’architettura così definita è supportata da una tecnologia, basata sugli standard OGC, che comprende la piattaforma commerciale *Cart@net* e i componenti *open source*: *Mapserver*, *PostgreSQL* e *Postgis*.

- **MapServer** è un ambiente multiplatforma di sviluppo e fruizione *open source* finalizzato alla rappresentazione di dati geospaziali. Può essere utilizzato per realizzare applicazioni *Web* (*WebGIS*), ma anche per la pubblicazione *Web* di servizi cartografici conformi alle raccomandazioni dell'*Open Geospatial Consortium* (*WMS*, *WFS*, *WCS*).
- **PostgreSQL** è un *Object Relational DataBase Management System (ORDBMS)* conforme agli *standards SQL (Structured Query Language)* che si occupa di archiviazione e integrità dei dati.
- **PostGIS** aggiunge “*spatially enables*” a *PostgreSQL* server, il quale può essere utilizzato come database geospaziale per *Geographic Information Systems (GIS)*.
- **Cart@net** è un prodotto di Planetek Italia utilizzato per consultare immagini satellitari, ortofoto, dati *raster* e vettoriali su *Web*. Il sistema è sviluppato per integrarsi con server di pubblicazione e distribuzione di dati vettoriali in *intranet* e *internet* (tipo *ArcIMS* di *ESRI*, *MapGuide* di *Autodesk*, *MapServer* ecc.), e con *Image Web Server* per la diffusione di dati *raster*.

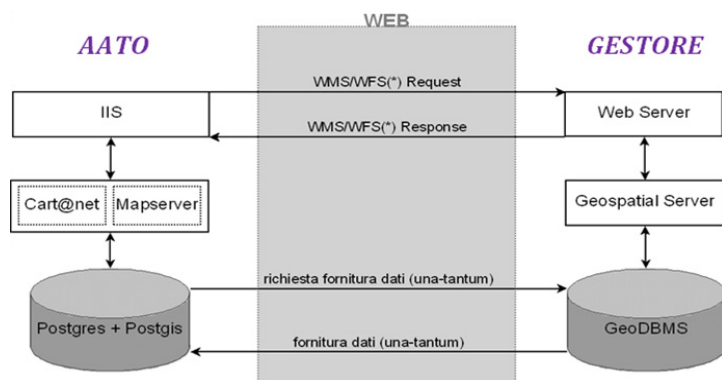


Figura 5 – Schema tecnologico del sistema di interscambio.

Nel sistema distribuito Sirio il Gestore non ha necessità di pubblicare un sistema di consultazione cartografica come quello presente in Aato, ma solo di rendere disponibili alcune informazioni presenti nelle proprie banche dati, secondo due modalità:

1. pubblicazione dei dati attraverso un *Web Map Service (WMS)* per la lettura da parte di Aato;
2. accesso ai dati in remoto per l'*editing* da parte di Aato.

Per garantire l'accesso in **modalità 1** è sufficiente avere la disponibilità delle seguenti componenti hardware e software:

- Indirizzo IP statico;
- *Server* fisico;
- *Web server*;
- *Geospatial server*.

Per garantire l'accesso in **modalità 2**, è sufficiente che vi sia la disponibilità aggiuntiva del seguente componente software:

- GeoDBMS aggiornato con periodicità concordata.

Questa architettura di interscambio ha consentito di condividere tra enti anche la banca dati idrogeologica che attualmente può essere aggiornata da remoto, senza creazione di duplicati, contemporaneamente da Aato Laguna di Venezia, Provincia di Venezia e Università di Padova.

### SCHEDA 3

#### PIANO D'AMBITO E VALUTAZIONE AMBIENTALE STRATEGICA (VAS)

Il Piano d'Ambito è lo strumento con cui l'Aato individua i propri obiettivi di lungo periodo (trentennio). La formalizzazione degli obiettivi viene realizzata attraverso l'individuazione di una serie di **azioni** che l'Aato si impegna a portare a compimento. Per verificare l'effettiva possibilità di raggiungimento degli obiettivi in forma corretta e in maniera efficiente nel corso degli anni, vengono definiti, per ciascuna azione, dei *target* e dei *trend* di avvicinamento al *target*.

La verifica della effettiva rispondenza delle azioni dell'Aato alle aspettative non si traduce in una banale presa d'atto, ma piuttosto nella raccolta di tutta una serie di informazioni che consentano di effettuare queste valutazioni; di conseguenza tali informazioni devono essere aggiornate e i risultati ottenuti devono essere "misurati". La misura dei risultati ottenuti può infatti risultare molto complicata: se da un lato infatti è banale sapere quale sia l'età media dei contatori dell'acqua, non è altrettanto intuitivo calcolare gli utenti coinvolti in una campagna di educazione ambientale o il livello di conoscenza prodotto dagli studi e dalle sperimentazioni.



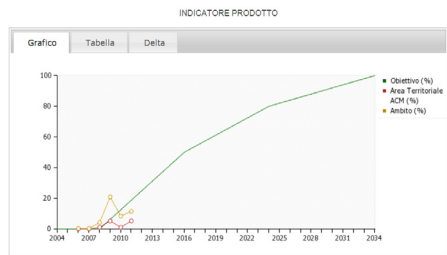


Figura 6 – Monitoraggio dell'indicatore di prodotto di una **azione**, per la quale sono raffrontati gli andamenti a scala d'ambito a di singola area territoriale rispetto al trend di obiettivo.

Per facilitare le verifiche di cui in sopra, Aato e IUAV hanno sviluppato uno strumento, a supporto della VAS, in cui ad una lista di azioni (tipicamente intraprese nel periodo di vita di un Piano d'Ambito) corrispondono dei parametri di valutazione in termini di: **risorse** impiegate, **prodotti** realizzati e **risultati** conseguiti (Figura 6). Ad esempio, l'azione denominata "ricerca perdite" per la quale è definito un certo "periodo di intervento" e un certo target (p.e. coprire il 30% della rete nei primi quattro anni e il 70% nei successivi otto), sarà caratterizzata da un'ipotesi di spesa. Periodicamente questa azione verrà valutata in termini di: *indicatore di risorsa*, verificando quanto è stato effettivamente speso rispetto al trend previsto; *indicatore di prodotto*, quantificando la lunghezza di acquedotto effettivamente ispezionata; *indicatore di risultato*, misurando il grado di conoscenza raggiunto sulla tenuta delle condotte idriche. La procedura di VAS è stata implementata, nei termini appena descritti, all'interno del Sirio, consentendo di monitorare in modo continuativo la corretta applicazione del Piano d'Ambito. Essa viene alimentata in modo automatico attraverso l'aggiornamento periodico degli indicatori ed il monitoraggio continuo dei piani triennali degli interventi. La figura 7 mostra un estratto del report di sintesi dei dati VAS nel quale vengono evidenziati, con un colpo d'occhio, dove e con quali risultati l'Autorità effettua i propri investimenti, sempre in riferimento ai target del Piano d'Ambito.

|                                                                                                       |      |      |      |      |      |      |                                                                                                                                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| regolamenti comunali, contributi, incentivi per l'incremento uso risorse sotterranee a scopo potabile | 👎    | 👎    | N.A. | 👎    | 👎    | N.A. | <ul style="list-style-type: none"><li>• Riduzione dei consumi finali</li><li>• Prevenzione del rischio</li><li>• Riduzione carico inquinante</li></ul> |
| Ricerca perdite                                                                                       | 👎    | 👎    | N.A. | 👎    | 👍    | N.A. |                                                                                                                                                        |
| Sostituzione contatori                                                                                | 👎    | 👍    | N.A. | 👎    | 👍    | N.A. |                                                                                                                                                        |
| Telacontrollo (acquedotto)                                                                            | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. |                                                                                                                                                        |
| Monitoraggio in rete (acquedotto)                                                                     | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. | N.A. |                                                                                                                                                        |
| Manutenzioni straordinarie (acquedotto)                                                               | 👎    | 👎    | N.A. | 👎    | 👍    | 👎    |                                                                                                                                                        |
| Integrazione copertura (acquedotto)                                                                   | 👎    | 👎    | N.A. | 👎    | 👎    | N.A. |                                                                                                                                                        |
| Interconnessioni reti idriche                                                                         | 👍    | 👍    | N.A. | 👍    | 👍    | N.A. |                                                                                                                                                        |
| Rimozione cemento amianto                                                                             | 👎    | 👎    | N.A. | 👎    | 👎    | N.A. |                                                                                                                                                        |

Figura 7 – Estratto del report di sintesi dei dati VAS.

Scheda 4

PIANI TRIENNALI DEGLI INTERVENTI

Il Piano d'Ambito propriamente detto rappresenta, come tutti i piani pluriennali a valenza strategica, una pianificazione del Servizio Idrico Integrato sul territorio di competenza che delinea degli obiettivi generali, spesso non territorializzabili, con una proiezione trentennale.

Da un punto di vista pratico, il Piano d'Ambito si concretizza attraverso l'attuazione di una serie di piani triennali, i quali focalizzano, secondo le priorità dettate dal Piano d'Ambito, gli interventi da realizzare nel territorio; tali interventi assumono a questo punto delle caratteristiche ben precise: sappiamo "dove" vengono fatti, "chi" li fa, "quanto" costano e "quali" effetti producono. Nel Sirio, il *workflow* per la gestione dei piani triennali prevede che il Gestore del Servizio Idrico Integrato inserisca, da postazione remota, gli interventi proposti per il nuovo piano triennale, attraverso la compilazione di schede georiferite direttamente nel sistema informativo (figura 8). Una volta approvate dall'Aato, le schede entrano a far parte del piano triennale e seguono il periodo di vita dei singoli interventi. L'Aato in questo modo può monitorare lo stato di avanzamento nella realizzazione delle opere e del piano triennale nel suo complesso.

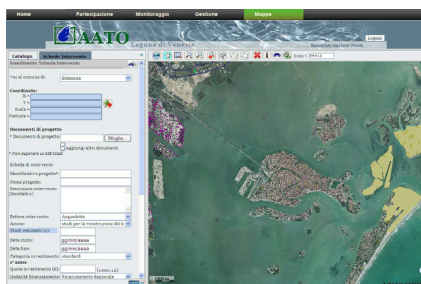


Figura 8 – Interfaccia per l'inserimento nel piano triennale degli interventi proposti.

| Dettagli scheda variante                      |            |
|-----------------------------------------------|------------|
| DATI VARIANTE INSERITA IL 2008-03-11 12:17:07 |            |
| ID VARIANTE:                                  | 40         |
| NOME VARIANTE:                                | prima      |
| NOME CAMPO VARIANTE:                          | datainizio |
| VALORE CAMPO VARIANTE:                        | 13/02/2007 |
| MOTIVAZIONE:                                  | prima      |

Figura 9 – Varianti in corso d'opera durante il periodo di vita di un singolo intervento.

Contestualmente il Gestore ha la possibilità di tenere aggiornata ogni singola scheda di monitoraggio e, all'occorrenza, comunicare le varianti in corso d'opera rese necessarie. Alla creazione delle varianti (figura 9) il sistema genera e invia all'Aato un *warning*.

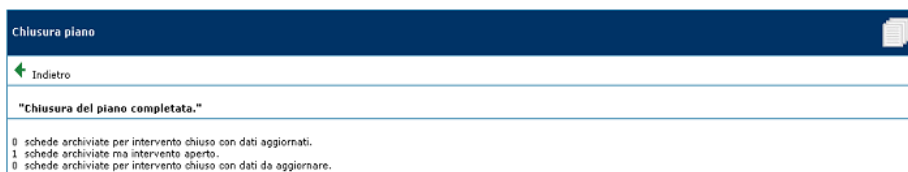


Figura 10 – Chiusura di un piano triennale e riepilogo degli interventi chiusi o ancora aperti.

Alla fine di ogni anno l'Aato provvede a chiudere il piano triennale (Figura 10) per riaprirne uno aggiornato. In questa fase il sistema effettua l'archiviazione degli interventi conclusi, mentre ripropone per il piano successivo gli interventi ancora in corso di realizzazione. Nel report di chiusura vengono inoltre segnalate le schede relative a interventi conclusi, per i quali non siano stati ancora aggiornati i grafici o i dati degli archivi geografici. Le informazioni contenute nella scheda di ciascun intervento (figura 8) concorrono a classificarlo nell'ambito dei **settori** e delle **azioni** catalogate con lo strumento VAS, in modo da avere sempre sotto controllo lo stato di realizzazione degli obiettivi del piano d'ambito (vedi Scheda 3) in termini di **prodotto** (quanto è stato fatto), **risorsa** (con quanti soldi) e **risultato** (con quale beneficio).

## Scheda 5

### INDICATORI

Il monitoraggio delle *performances* e dei livelli di servizio raggiunti nell'esercizio del Servizio Idrico Integrato avviene attraverso il calcolo di indicatori standardizzati.

Esporta in Excel

Compilazione variabili per indicatori (tipo: tecnico)

Crea il 08/02/11, ultima modifica effettuata il 15/02/11

Stai visualizzando le variabili: Tutte

10 variabili per pagina

| gruppo                                                                 | o | sotto-<br>gruppo | nome                                        | o | unità di<br>misura | o | valori<br>precedente | o | valore | o | compilata |
|------------------------------------------------------------------------|---|------------------|---------------------------------------------|---|--------------------|---|----------------------|---|--------|---|-----------|
| Indicatori generali dei servizi di acquedotto, fognatura e depurazione |   |                  | Popolazione residente                       |   | numero             |   | 0                    |   | si     |   |           |
| Indicatori generali dei servizi di acquedotto, fognatura e depurazione |   |                  | Popolazione residente                       |   | numero             |   | 2                    |   | si     |   |           |
| Indicatori generali dei servizi di acquedotto, fognatura e depurazione |   |                  | Popolazione residente                       |   | numero             |   | 3                    |   | si     |   |           |
| Indicatori generali dei servizi di acquedotto, fognatura e depurazione |   |                  | Popolazione residente                       |   | numero             |   | 5                    |   | si     |   |           |
| Indicatori generali dei servizi di acquedotto, fognatura e depurazione |   |                  | Popolazione residente servita da acquedotto |   | numero             |   | 0                    |   | si     |   |           |
| Indicatori generali dei servizi di acquedotto, fognatura e depurazione |   |                  | Popolazione residente servita da acquedotto |   | numero             |   | 1                    |   | si     |   |           |
| Indicatori generali dei servizi di acquedotto, fognatura e depurazione |   |                  | Popolazione residente servita da acquedotto |   | numero             |   | 4                    |   | si     |   |           |
| Indicatori generali dei servizi di acquedotto, fognatura e depurazione |   |                  | Popolazione residente servita da acquedotto |   | numero             |   | 5                    |   | si     |   |           |
| Indicatori generali dei servizi di acquedotto, fognatura e depurazione |   |                  | Popolazione residente servita da fognatura  |   | numero             |   | 3                    |   | si     |   |           |
| Indicatori generali dei servizi di acquedotto, fognatura e depurazione |   |                  | Popolazione residente servita da fognatura  |   | numero             |   | 4                    |   | si     |   |           |

1 di 10 variabili su 124 totali

Prima << 1 2 3 4 5 >> Ultima

Figura 11 – Maschera di inserimento delle informazioni alfanumeriche.

Questi indicatori sono calcolati a partire da una serie di variabili (figura 11) che vengono periodicamente aggiornate dal Gestore e dall'Ato e che riguardano:

- l'evoluzione demografica nei comuni che fanno capo all'Ato Laguna di Venezia;
- aspetti economico/finanziari, legati all'andamento del bilancio annuale;
- aspetti prettamente gestionali utilizzati nel controllo di gestione;
- indicatori utili per il calcolo della tariffa;
- variabili tecniche;
- variabili utilizzate nell'ambito del processo VAS.

Ci sono diverse centinaia di variabili, per cui il loro aggiornamento periodico richiede un certo impegno; per contro, esse consentono di produrre tutti i report necessari a soddisfare le richieste degli enti sovraordinati e di controllo (Regione, CONVIRI, etc.), ad effettuare il controllo di gestione e, in definitiva, a far funzionare in maniera efficiente il Sirio e tutto il sistema di pianificazione degli interventi. Inoltre, un aspetto certamente da non sottovalutare è dato dal fatto che l'intero sistema è predisposto per lavorare con dati "discretizzati" in quattro aree di competenza dei quattro precedenti gestori del servizio idrico, nulla vieta di effettuare una raccolta dati ancor più dettagliata, per esempio a livello di comune.

Questo metodo di trattamento dei dati consente di effettuare elaborazioni distinte su ciascuna area con il vantaggio di poter affinare geograficamente analisi sull'andamento del servizio e di poter pianificare gli interventi in modo più accurato che non operando a livello di intero Ambito.

## Scheda 6

## GEOTAGGING E FORUM

Una caratteristica molto importante dell'architettura informatica pensata da Aato e IUAV per il Sirio risiede proprio nel sistema di comunicazione e di intercambio. In particolare, per quanto riguarda l'aspetto della comunicazione, il Sirio supporta anche un sistema di ascolto finalizzato a ricevere e misurare gli impulsi dall'esterno.

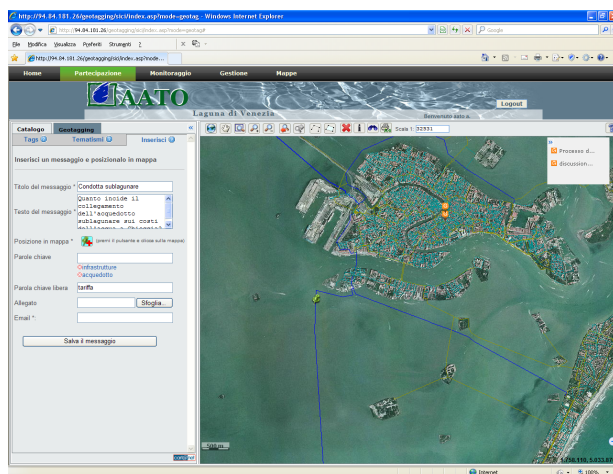


Figura 12 – Interfaccia dello strumento di geotagging che consente di inserire commenti e osservazioni.

L'obiettivo è di raccogliere informazioni utili al monitoraggio della percezione che il cittadino può avere nei confronti degli effetti prodotti dalla realizzazione del Piano d'Ambito. Il cittadino, attraverso gli strumenti del *geotagging* e del forum, può accedere al sistema e alle informazioni da esso fornite, in particolare dal quadro conoscitivo, può valutare i risultati rendicontati dall'Aato e conseguentemente gli viene data la facoltà di partecipare esprimendo il proprio pensiero o segnalando dei disservizi.

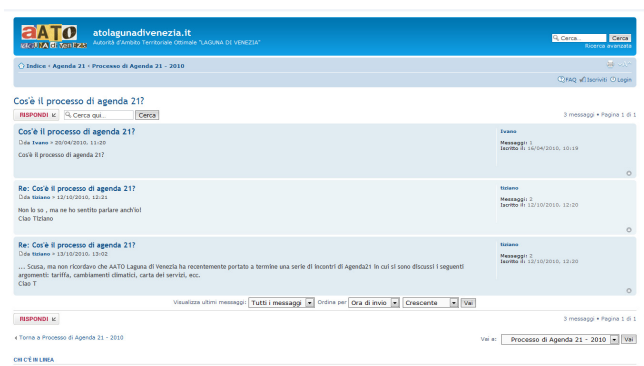


Figura 13 – Il Forum collegato al sistema di comunicazione del Sirio consente di avviare dibattiti all'interno della comunità in rete.

L'Aato valuta tutte queste informazioni con lo scopo di prendere delle decisioni ed, eventualmente, "dirottare" il Piano d'Ambito. La pianificazione di quali interventi eseguire e di dove eseguirli avviene, non solo sulla base di considerazioni puramente tecniche ma anche in funzione delle necessità segnalate attraverso tali strumenti, con lo scopo di migliorare il livello di servizio percepito. Pertanto, attraverso il *geotagging* il cittadino può comunicare con l'Aato e con l'intera comunità, inserendo segnalazioni (figura 12) e commenti su questioni che ritiene importanti.

Questa particolare sezione di comunicazione tra Cittadino e Autorità è anche ampliata attraverso l'interconnessione diretta dell'area di *geotagging* con un'area forum (figura 13) nella quale le questioni segnalate e collegate a tematiche territorializzate possono essere approfondite all'interno di un dibattito in rete.

## Scheda 7

### TAGCLOUD

Una *tagcloud* (tradotta con **nuvola di parole chiave**) è una rappresentazione visiva delle etichette generate dagli utenti di un sito ed è utilizzata per descrivere ed evidenziare gli argomenti delle ricerche degli utenti, attraverso le parole chiave utilizzate. I *tag* sono generalmente delle parole singole la cui importanza è determinata generalmente dalla frequenza con cui la parola viene usata per le ricerche. L'importanza della parola viene visivamente evidenziata, nella *tagcloud*, dalle dimensioni maggiori dei caratteri o dal colore più incisivo con cui è rappresentata. Il *tag* è un *link* che porta a un insieme di elementi associati e che possono contribuire ad approfondirne il significato. Le nuvole di *tag* costituiscono un nuovo elemento di interfaccia utilizzato per illustrare a colpo d'occhio gli interessi della gente su determinati argomenti (Figura 14). Nel contesto dell'attività di pianificazione dell'Aato, la *tagcloud* completa l'informazione tecnica generata dal sistema dei report connessi alla VAS, integrando l'informazione con apporti di carattere politico e sociale, certamente di grande interesse per l'amministratore-decisore: l'Assemblea d'Ambito.

Nel mondo del *web 2.0* questo sistema di classificazione dei contenuti viene chiamato *Collaborative GeoTagging*. In questo sistema di classificazione i *tag* geografici vengono gestiti allo scopo di raggrupparli in categorie basate sui loro significati e successivamente, le categorie di *tag*, vengono ulteriormente raggruppate in tematismi che raggruppano, appunto, *tag* rispondenti ad un unico grande argomento.

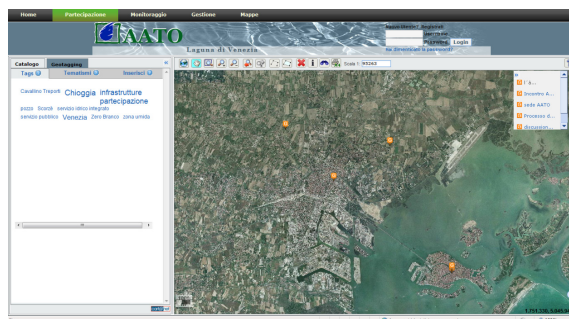


Figura 14 – Risultato fornito dall'utilizzo della *tagcloud* che indica l'emergere di tematiche ricorrenti tra gli utenti e i luoghi più direttamente interessati.

Nel caso del Sirio i tematismi, che comprendono diverse categorie di *tags*, sono oggetto di discussione. È stato infatti costituito un Forum nel quale i temi discussi comportano partecipazione e chiarimenti da parte dell'utenza. In questo modo viene stabilito un *link* diretto tra due importanti strumenti di partecipazione: *geotagging* e forum.

## **LIDAR terrestri e aviotrasportati per il monitoraggio di versanti instabili: limiti e potenzialità in integrazione con altri sistemi di rilievo e controllo**

Alessandro Capra, Eleonora Bertacchini, Cristina Castagnetti, Riccardo Rivola

Università di Modena e Reggio Emilia, DIMeC, Strada Vignolese 905, 41125 Modena (MO)

### **Abstract esteso**

Ad oggi esiste una vasta gamma di tecnologie che permette lo studio e l'indagine del territorio con elevato grado di dettaglio e accuratezza. Sono sempre più frequenti le richieste degli Enti preposti al controllo del territorio e alla gestione del rischio, che esprimono l'esigenza di conoscere in modo approfondito il territorio, nella sua morfologia e nella sua evoluzione nel tempo. Sistemi integrati di monitoraggio costituiti da strumentazione GPS (*Global Positioning System*) e stazione totale per il controllo di versanti instabili sono presenti da diversi anni sul territorio della Regione Emilia Romagna e si sono dimostrati utile strumento alla mitigazione del rischio (Bertacchini et al., 2009). Su versanti che presentano movimenti di una certa entità (superiori a qualche cm/mese), sicuramente questo tipo di strumentazione è consolidata e presenta il vantaggio di essere gestibile da remoto e di poter lavorare in continuo. Quando però le informazioni spazialmente discrete, anche se continue nel tempo non sono più sufficienti allo studio del fenomeno nella sua complessità, le tecniche LIDAR (*Light Detection And Ranging*) terrestri o aviotrasportata, possono diventare indispensabili (Corsini et al., 2009; Sgrenzaroli, Vassena, 2007).

Attraverso i rilievi aviotrasportati efficaci anche con una certa copertura vegetativa si può realizzare l'inquadramento dell'area. Con i rilievi terrestri, invece, è possibile realizzare scansioni di dettaglio degli elementi di interesse. In particolare, si possono raffittire le scansioni aviotrasportate, laddove meno significative, come su pareti verticali di roccia. Infatti, in questi casi, i punti acquisiti dal LIDAR aereo sono pochi e il DTM (*Digital Terrain Model*) che ne deriva non rispecchia la morfologia dell'area nel migliore dei modi. Con i sistemi Laser Scanner Terrestre (TLS) *very long-range*, con portata fino a 6 km ed in grado di penetrare la vegetazione grazie alla tecnologia *multi-echo*, insieme al LIDAR aereo, la tecnica laser scanning sembra avere tutti i requisiti per essere uno strumento efficace di studio e di monitoraggio del territorio.

La Frana di Collagna (Reggio Emilia, Italia), oggetto di studio nell'ambito di una collaborazione tra Università di Modena e Servizio tecnico di Bacino della Regione Emilia Romagna, sede di Reggio Emilia, ben si presta a questo tipo di studio. La frana, che interessa un intero versante attraversato dalla Strada Nazionale 63 "del Cerreto", è caratterizzata sia da movimenti in terra che da pareti rocciose ed è parzialmente coperta da vegetazione; è oggetto di monitoraggio attraverso sistema continuo, costituito da una stazione totale (TM30 Leica) dal 2009 (Bertacchini et al., 2011a; Bertacchini et al., 2011b). Per inquadrare l'area, ad Aprile 2010 è stato realizzato un volo LIDAR, mentre sono state realizzate tre scansioni di dettaglio nelle zone di maggior interesse, le pareti rocciose, tramite LST (Aprile 2010, Novembre 2010 e Aprile 2011). L'integrazione tra le diverse tecniche (stazione totale, GPS, LIDAR terrestre e aviotrasportato) è sembrata la soluzione ottimale per il monitoraggio dei vari fenomeni che caratterizzano il versante (Figura 1). Non sono da trascurare gli aspetti legati alla precisione e all'accuratezza delle diverse tecniche e ai sistemi di riferimento intrinseci di ogni tipologia di strumentazione. Questi devono essere sempre considerati quando si fanno dialogare le osservazioni o si mettono a confronto i diversi risultati. Quando le osservazioni e le tecniche impiegate sono molteplici è possibile realizzare diversi confronti o



integrazioni. Ad esempio: i rilievi GPS periodici sui punti di controllo della stazione totale (prismi di riferimento e pilastrino della stazione totale) e del laser scanner terrestre (target e postazione di misura fissi) hanno permesso di valutarne la stabilità nel tempo e di determinarne le coordinate in un sistema di riferimento assoluto (ETRF - *European Terrestrial Reference Frame*- 2000); tramite i rilievi con stazione totale è stato possibile validare i risultati del confronto tra i diversi rilievi LST; i rilievi laser scanner aereo e terrestre (Aprile 2010) sono stati integrati per fornire un modello digitale del terreno dettagliato e nello stesso tempo per consentire la georeferenziazione delle nuvole di punti.



*Figura 1 – Da sinistra: localizzazione della Frana di Collagna; punto di controllo RIF1 (palo infisso nel terreno con dispositivo a centramento forzato); prisma per stazione totale e target fisso per LST; punto di controllo RIF1: punto GPS e target fisso LST; nuvola di punti LIDAR (Aprile 2010) dall'integrazione dei rilievi terrestri, in rosso, e aviotrasportato, in verde.*

Non poche sono state le difficoltà riscontrate nel far dialogare i sistemi di riferimento in cui operano i singoli strumenti, ma anche legate all'impiego di tecnologie innovative in condizioni operative non ottimali: elevati angoli di incidenza, vegetazione sparsa, distanze superiori al chilometro, scarsità di superfici utili all'impiego della tecnica ICP (*Iterative Closest Point*), condizioni atmosferiche variabili e diversificate nel tempo e nello spazio, ecc. Grazie alla disponibilità di dati derivati dalla diversa strumentazione, è stato possibile validare i risultati delle diverse tecniche impiegate e nello stesso tempo realizzare molteplici test, da cui sono emersi limiti e potenzialità delle diverse tecniche. Per esempio, integrare LIDAR terrestre e aviotrasportato è risultato utile al fine dell'inquadratura dell'area e per descrivere con maggior dettaglio le pareti verticali dei blocchi rocciosi (Figura 1, immagine di destra). La precisione raggiunta (16 cm), però, non consentirebbe lo studio di movimenti differenziali nel tempo a breve-medio termine, essendo l'entità dei movimenti in gioco dell'ordine dei 20-30 cm/anno. Per questo sono stati poi utilizzati i rilievi LST al fine di fare i confronti nel tempo, avendo raggiunto una maggior precisione nella registrazione delle scansioni realizzate nei diversi periodi (inferiore a 10 cm).

## Bibliografia

- Bertacchini E., Capra A., Castagnetti C., Corsini A. (2011 a), "Atmospheric corrections for topographic monitoring systems in landslides". *Atti XXV FIG working week 2011. Marrakech*, Marocco, 18-22 Maggio 2011, ISBN 978-87-90907-92-1.
- Bertacchini E., Castagnetti C., Capra A. Rivola R., Corsini A., (2011 b), "Rilievi integrati per il monitoraggio e la gestione dell'instabilità dei versanti". *Geomatica - le radici del futuro (tributo a Sergio Dequal & Riccardo Galetto)* edited by Ambrogio Manzino and Anna Spalla, pag 89-98, Italy, Edizioni SIFET, ISBN 88-901939-6-4.
- Bertacchini E., Capitani A., Capra A., Castagnetti C., Corsini A., Dubbini M., Ronchetti F., (2009). "Integrated surveying system for landslide monitoring, Valoria Landslide (Appennines of Modena, Italy)". *Proceedings of FIG Working Week 2009*, ISBN 978-87-90907-73-0.
- Corsini A., Borgatti L., Cervi F., Daehne A., Ronchetti F., Sterzai P., (2009). "Estimating mass-wasting processes in active earth slides – earth flows with time-series of High-Resolution DEMs from photogrammetry and airborne LiDAR". *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9: 433-439.
- Sgrenzaroli M., Vassena G.P.M., (2007), "Tecniche di rilevamento tridimensionale tramite laser scanner". *Vol 1, Starrylink Editrice Brescia*.



## **Valutazione delle trasformazioni del territorio con metodi satellitari**

M. Caprioli, A. Scognamiglio, L. Mancini

Politecnico di Bari, DVT, Sezione di Geomatica  
E-mail: m.caprioli@poliba.it; a.scognamiglio@poliba.it

### **Riassunto**

L'utilizzo e l'analisi di immagini satellitari rappresenta una efficiente ed economica via per l'ottenimento di informazioni per attività di salvaguardia, di verifica, di valutazione, di investigazione e di supporto. Per molte istituzioni, pubbliche o private, la conoscenza delle dinamiche delle risorse naturali e/o delle strutture antropiche è una notevole fonte di informazioni per i processi decisionali.

Le attuali tecnologie satellitari, con l'acquisizione periodica di dati utili per la generazione tempestiva di prodotti cartografici, aggiornati e coerenti con il contesto territoriale d'indagine, offrono la possibilità di colmare il distacco temporale fra la necessità di informazioni urgenti e la disponibilità di informazioni ufficiali di riferimento.

Tra le tecniche evolute di elaborazione delle immagini, quelle di "Change Detection" servono per facilitare l'individuazione delle variazioni nel tempo, contribuendo a ridurre l'intervento dell'operatore tramite l'automatizzazione dei processi e migliorandone progressivamente anche l'accuratezza, qualitativa e quantitativa, dei risultati.

Alla luce delle problematiche evidenziate, lo studio intende approfondire una metodologia di analisi automatizzata delle modifiche dell'uso del suolo, mediante tecniche di "Change Detection" operate su dati da telerilevamento satellitare e di diversa origine che sono quindi eterogenei per risoluzione spaziale e spettrale. L'omogeneizzazione e la registrazione in un unico ambiente digitale delle informazioni, grazie all'identificazione e quantificazione delle variazioni intercorse nel territorio, permetteranno, anche in questa situazione non convenzionale di ottenere delle utili informazioni.

### **Abstract**

The current satellite technology, with the acquisition of useful data for the periodic generation of cartographic products, updated and consistent with the local context of inquiry, offer the possibility to bridge the gap in time between the urgent need for information and availability reference to official information.

Among the advanced techniques of image processing, those of "Change Detection" are used to facilitate the identification of trends over time, helping to reduce operator intervention by automating processes and improving progressively the accuracy, quality and quantitative results.

In light of the problems highlighted, the study intends to investigate a methodology for automated analysis of changes of land use, with "Change Detection" techniques on satellite remote sensing data from different sources and are therefore heterogeneous spatial and spectral resolution.

Homogenization and recording in a single digital environment of information, through the identification and quantification of changes occurring in the territory, allow to obtain useful information even in this not conventional situation.

## Introduzione

La necessità di reperire sempre nuove forme di informazioni con alti livelli di accuratezza, localizzate spazialmente e ripetibili anche in intervalli di tempo ravvicinati, è fondamentale per una gestione dell'ambiente fondata sul concetto di sostenibilità.

In questo contesto le tecniche per il monitoraggio delle dinamiche di evoluzione di fenomeni naturali e le interazioni che questi hanno con i manufatti antropici, risultano essere una importante fattore di ausilio per i processi di decisione/intervento in una grande varietà di applicazioni.

Il rilevamento del cambiamento dell'uso/copertura del suolo, mediante analisi automatiche di immagini telerilevate, acquisite su di una stessa area in tempi diversi, è diventato così uno dei campi di sviluppo della ricerca in continuo perfezionamento.

Le metodologie per le analisi dei cambiamenti vengono definite tecniche di "Change Detection" (CD) e consistono in quei processi atti ad identificare e quantificare le differenze temporali di stato di oggetti e/o fenomeni in una determinata area della superficie terrestre.

In generale i metodi di CD confrontano immagini acquisite dallo stesso sensore per assicurare la comparabilità dei vari aspetti nell'arco di tempo e di spazio di interesse. In realtà in molti casi si è costretti ad usare immagini multitemporali provenienti da diversi sensori. Per esempio, in analisi di serie storiche estese, alcuni dati potrebbero essere stati acquisiti da sensori non più esistenti o che attualmente hanno smesso di acquisire immagini per ragioni tecniche oppure si potrebbero avere immagini prive di documentazione o di metadati precisi sul tipo di sensore utilizzato o persino sulla data di acquisizione. In altri casi, nonostante i dati possano ritenersi comparabili dal punto di vista sensoriale, possono non risultare idonei in termini di qualità dell'immagine per la presenza di coperture nuvolose o di difetti di acquisizione nella zona di interesse per variazioni dell'inclinazione e/o dell'esposizione solare.

Un'altra problematica di carattere generale è che i processi di CD non sono in alcun modo standardizzati e difficilmente, anche in futuro, si potrà raggiungere un grado di standardizzazione spinta. Ciò implica che i risultati prodotti sono difficili da replicare, perché differenti interpreti potrebbero produrre differenti risultati. È quindi sempre necessaria una verifica statistica di verità a terra, a conferma della oggettività dei risultati raggiunti.

Un'ultima problematica è stabilire se una procedura che tende all'automatizzazione possa garantire risultati soddisfacenti, ovvero se il lavoro di una macchina possa sostituire le capacità umane. Infatti spesso non esistono algoritmi che possano emulare i livelli di interpretazione della mente e da ciò deriva che un esperto fotointerprete di fotogrammetria aerea fornisce risultati molto più accurati in termini di precisione di qualsiasi software. D'altronde si ottengono consistenti vantaggi sia nella ripetizione rapida delle procedure che per la possibilità di analizzare elementi non visibili all'occhio umano, sfruttando frequenze esterne al campo della luce visibile. Sarà necessario, quindi, per ogni tipo di lavoro valutare i costi e i benefici offerti dalle procedure automatiche informatizzate, invece che dalla capacità di operatori esperti.

I principali parametri che possono influire sui processi di CD sono soprattutto la risoluzione spaziale e spettrale dei sensori. Per un confronto corretto le due (o più) immagini dovrebbero avere stessa risoluzione spaziale e spettrale in modo da poter evitare processi di ricampionamento dei pixel e la relativa perdita di informazione.

Per ciò che riguarda il sensore sarebbe opportuno avere immagini acquisite dallo stesso satellite, per evitare fastidiosi problemi legati a differenti angolazioni di ripresa o discrepanze di intervalli di lunghezza d'onda delle bande.

L'analisi di un gran numero di studi inerenti alle varie tecniche di CD ha dimostrato che la scelta di un determinato algoritmo è in molti casi pragmatica, piuttosto che scientificamente basata. Ciò rende difficoltoso redigere una classifica su quali algoritmi utilizzare per ottenere i migliori risultati nei vari campi di interesse.

Sembrerebbe comunque che una parallela implementazione di diversi metodi di CD, seguita da una integrazione dei risultati, possa rappresentare la più corretta via per la determinazione dei diversi e possibili cambiamenti che condizionano l'ambiente.

### Area di studio

L'area di studio è una porzione di territorio pugliese dell' Alta Murgia, localizzata all'interno dei confini comunali della città di Andria. Tale porzione, situata nelle vicinanze di Castel del Monte, è compresa all'interno del Parco Regionale dell'Alta Murgia di recente istituzione (L.426/1999) e rappresenta perciò un area di notevole interesse naturalistico e paesaggistico, nonché di promozione e riqualificazione di attività agro-silvo-pastorali.

Al fine di garantire la necessaria tutela di un'area di così grande interesse, è dunque fondamentale dotarsi di metodi di controllo e di monitoraggio efficaci per poter rapidamente e chiaramente individuare eventuali zone in cui vincoli di tipo ambientale vengano infranti. Si pensi ad esempio alla piaga dell'abusivismo edilizio, delle discariche e cave abusive. A tal fine si ritiene che le metodologie di Change Detection possano risultare estremamente efficaci e degne di considerazione.

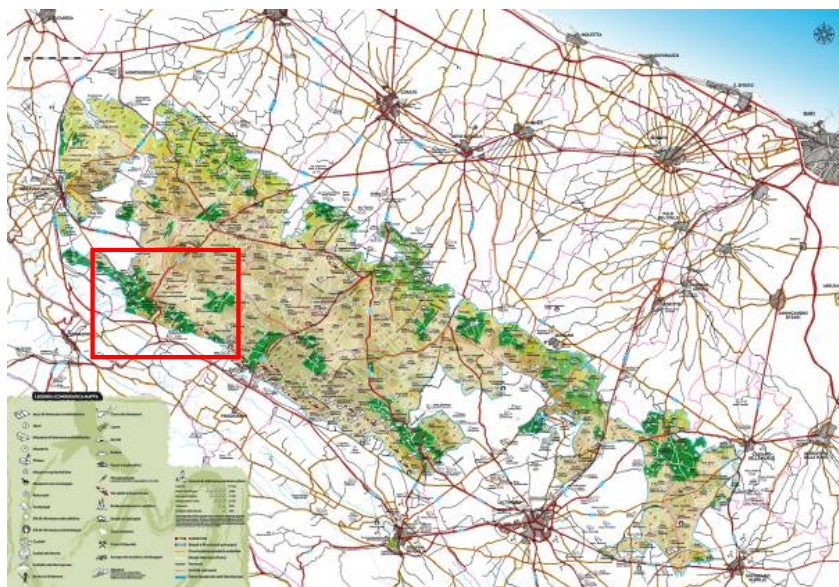


*Figura 1 – Il parco dell'Alta Murgia e localizzazione dell'area di studio.*

La sezione di Geomatica e Cartografia del Politecnico di Bari dispone di una immagine telerilevata della zona di interesse. Si tratta di un dato rilevato dal sensore IKONOS-2 avente come coordinate dei punti di margine del rettangolo in rosso: Lat: 40.93°-Long: 16.19° e Lat: 41.06°-Long.: 16.33°, georeferenziato nel sistema UTM-WGS84 con una risoluzione spaziale di 1m per la banda pancromatica, 4 bande spettrali, acquisita il 18-05-2000, 09:33. Questa immagine verrà definita **IMG1**, acquisita al tempo  $t_1$  = maggio 2000.

Il sito del Sistema Informativo Territoriale ([www.sit.puglia.it](http://www.sit.puglia.it)) predisposto dalla Regione Puglia, mette a disposizione una molteplicità di risorse utili a studi cartografici. Tra queste possono risultare utili ai nostri scopi i fogli di ortofoto del territorio. La zona di interesse è coperta da molti fogli opportunamente mosaicati in un'unica immagine mediante il Tool "Mosaic" di Arcgis.

Le date di aggiornamento di ciascun foglio risalgono al 15 dicembre 2008 ( $t_2$ ) e nel seguito tale immagine sarà denominata come **IMG2**.

Infine abbiamo utilizzato le immagini di Google Earth ricavate sfruttando il software gratuito Google Map Downloader. L'acquisizione, avvenuta mediante sensore GeoEye, è databile al 5 set 2010 ( $t_3$ ) e tale immagine sarà denominata **IMG3**. Il focus di questo studio è quindi proprio la verifica dei risultati ottenibili in condizioni non convenzionali con l'uso di materiali già gratuitamente disponibili anche se di tipologia molto eterogenea.

## Pre-elaborazioni

### Pansharpening

Gli algoritmi di pan-sharpen permettono di poter sfruttare la più elevata risoluzione spaziale offerta dalla banda pancromatica del dato ottenendone un'immagine a colori naturali.

Per realizzare i nostri confronti abbiamo deciso contrariamente alla normale procedura di ridurre le bande di tutte le immagini disponibili ai soli colori naturali.

Si esegue quindi l'operazione di pan-sharpening sulla IMG1 in modo da renderla quanto più omogenea alla IMG2 e IMG3 che sono di per se a colori naturali. Si otterrà così un'immagine a colori naturali e alla risoluzione di 1m per pixel.

I softwares offrono appositi tools per le operazioni di pansharpening con una serie di algoritmi specifici per l'operazione di pansharpening:

- HPF Resolution Merge;
- Modified IHS Resolution Merge;
- Subtractive Resolution Merge;
- Ehlers Fusion Resolution Merge;
- Ecc...

È stato utilizzato l'algoritmo "Subtractive Resolution Merge" che nella maggior parte dei casi offre il giusto compromesso tra l'elevato dettaglio spaziale e una realistica rappresentazione dei colori.

### Co-registrazione

La corretta e perfetta sovrapposizione delle immagini è un requisito fondamentale per evitare che gli algoritmi automatici di CD possano considerare "cambiamento" ciò che in realtà è solo una traslazione delle immagini dovuta ad una non perfetta co-registrazione dei dati.

Nel nostro caso abbiamo co-registrato IMG2 e IMG3 avendo come riferimento (reference) IMG1. Abbiamo utilizzato una serie di GPCs individuati in maniera manuale tra quei punti certamente invariati alle diverse epoche, come spigoli di edifici incroci di strade etc.. ma quelli individuabili in via automatica mediante algoritmi di auto-correlazione.

È stato valutato come sufficiente un totale di 20 GPC che sono stati selezionati manualmente, più molti altri punti rilevati automaticamente mediante AutoTie con algoritmo Affine (soglia RSM impostata a 0.5) e un range di affidabilità non inferiore all' 80%.

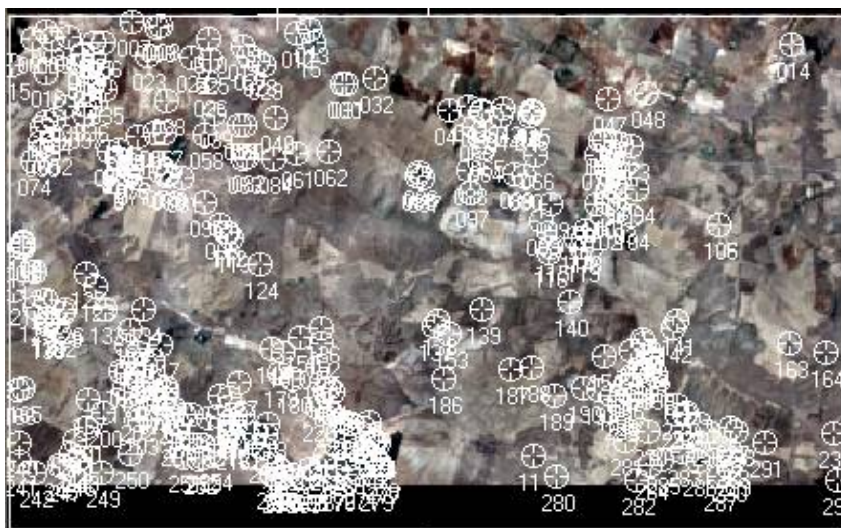


Figura 2 – I GPC individuati.



### Ricampionamento e cut

IMG2 e IMG3 risultano avere una risoluzione spaziale maggiore rispetto a quella di IMG1. Bisogna anche da questo punto di vista omogeneizzare la situazione, e perciò entrambe le immagini subiranno un'operazione di ricampionamento mediante algoritmo Cubic convolution per ottenere una grandezza di pixel comune a tutte e 3 le immagini.

Le immagini IMG1 e IMG2 sono poi state “tagliate” in modo eliminare le zone al di fuori dai bordi della IMG3.

### Normalizzazione

A questo punto le immagini possono ritenersi omogenee da un punto di vista spaziale, ma non ancora da un punto di vista spettrale. Per correggere questa ulteriore discrepanza si è ritenuto sufficiente adoperare un Histogram Matching con immagine di riferimento la IMG2.

L'operazione scelta risulta totalmente automatizzata e restituisce un risultato di discreta qualità. La scelta di utilizzare la IMG2 come reference per la normalizzazione è dettata dal fatto che tale condizione restituiva i risultati qualitativamente più accettabili.

### Controllo e valutazione

Un controllo visivo dei risultati delle operazioni fin qui svolte permette di evitare quantomeno discrepanze grossolane. Nelle immagini sotto riportate vengono mostrati i risultati ottenuti (fig. 3 ), anche nei casi non soddisfacenti.



*Figura 3 – Risultati ottenuto dopo la co-registrazione e la normalizzazione.*

### **Change Detection**

Con le immagini oramai omogenee, è possibile effettuare infine l'analisi di Change Detection.

Caricando IMG1 e IMG2 e lanciando la prima iterazione con parametri predefiniti, ci si rende subito conto che il risultato non consente una immediata analisi in quanto evidenzia tutta una serie di cambiamenti non significativi.

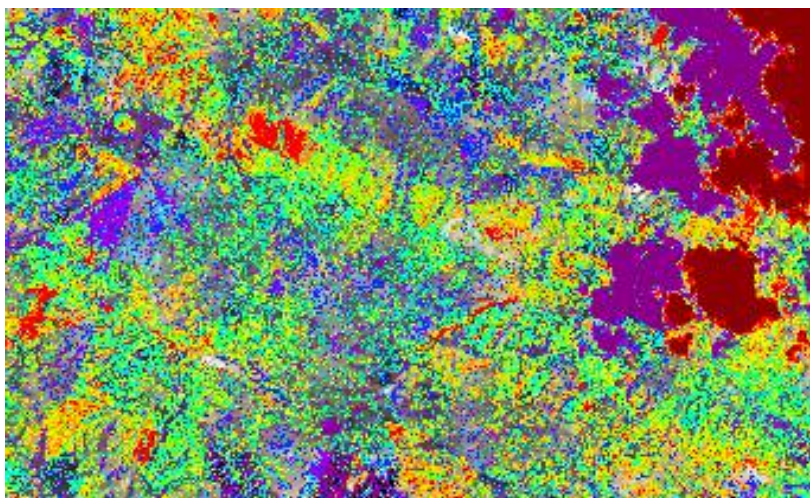


*Figura 4 – Risultato di prima iterazione.*

Ovviamente è necessario un attento processo iterativo per cercare di regolare i filtri che il software mette a disposizione al fine di eliminare l'eccessivo rumore della classificazione e far evidenziare solo i cambiamenti di interesse.

Attraverso la calibrazione di filtri spaziali e più precisamente di quello di area, a cui è stato imposto di far rilevare solo i cambiamenti che comprendessero almeno l'insieme di 1000 pixel contigui e una soglia di variazione del 70%, si è riuscito ad ottenere una discreta riduzione del rumore.

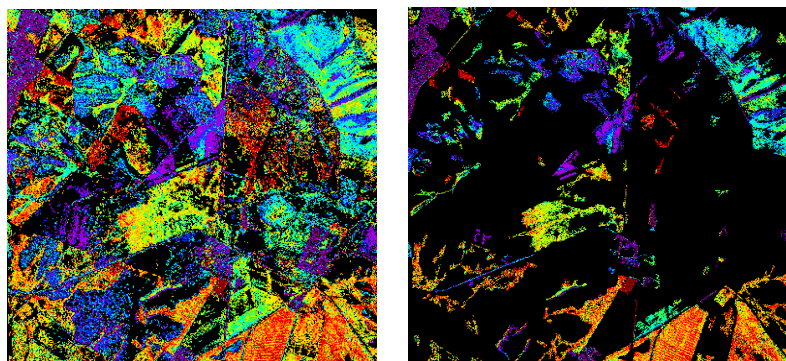


*Figura 5 – Particolare per evidenziare la riduzione del rumore.*

Si riportano alcuni esempi di avvenuta e immediata rilevazione, in cui si evidenziano gli stati agli istanti di tempo  $t_1$  (immagine in alto a destra),  $t_2$  (in basso a destra), e la classificazione che evidenzia la zona di cambiamento, in cui il colore rosso evidenzia valori di cambiamento rilevanti.



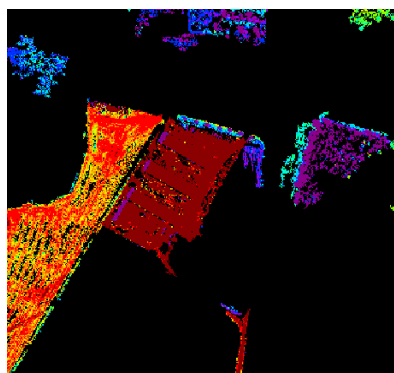


*Figura 6 – Rilevata la presenza di nuovi fabbricati.*

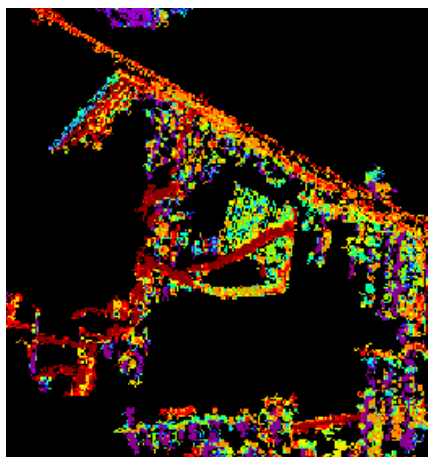


*Figura 7 – Rilevato un cambiamento della viabilità.*

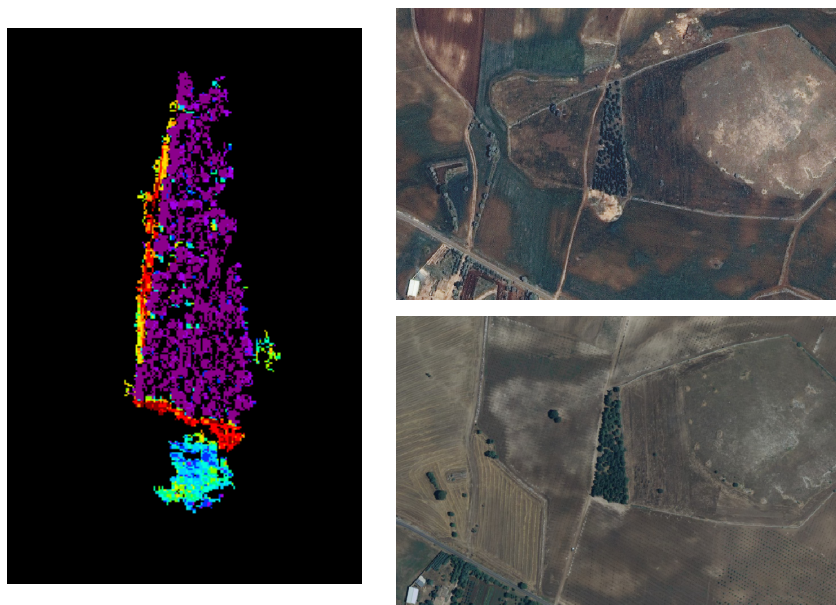


*Figura 8 – Cambio di viabilità e modificazione del terreno.*



*Figura 9 – Cambiamento non rilevato.*

### **Analisi dei risultati**

Le elaborazioni automatiche hanno dimostrato limiti e possibilità conseguibili con le procedure di CD anche con l'utilizzazione di immagini non satellitari reperibili gratuitamente in rete. La procedura automatica ha permesso di localizzare in maniera rapida molti punti di cambiamento del territorio, ma al contempo in qualche occasione ha dato luogo a “falsi positivi” o in altri casi non ha rilevato cambiamenti.

Abbiamo verificato che le operazioni prelieve di calibrazioni e registrazioni dei dati permettono di migliorare i risultati conseguibili, riducendo in maniera significativa i margini di errore già prevedibili, dovuti allo stesso procedimento di confronto pixel per pixel realizzato su immagini eterogenee.

È evidente che qualora avessimo condotto la sperimentazione con immagini multi temporali provenienti dallo stesso sensore avremmo raggiunto risultati più confortanti, ma vogliamo

sottolineare che anche con mezzi molto ridotti è possibile effettuare uno screening di massima dei cambiamenti, salvo poi andare ad indagare più puntualmente nelle zone individuate dalla prima analisi di CD.

Tale metodo risulta essere di un qualche interesse proprio in quelle zone dove a seguito di emergenze si debbano valutare i cambiamenti intervenuti su un'area di cui non si posseggano serie storiche di immagini telerilevate.

Il presente studio ha utilizzato immagini a risoluzione spaziale di 1m; sarà interessante in futuro valutare i risultati ottenibili con una serie di immagini a risoluzione maggiore, verificando quanto l'algoritmo automatico di Change Detection è sensibile alla risoluzione in ingresso.

Il gruppo di lavoro si propone anche di ripetere i confronti utilizzando le immagini della stessa zona del nuovo satellite World View II che presto saranno rese disponibili.

L'utilizzo, in questo caso, delle otto bande fornite dal sensore potrà infatti rendere ancora più interessanti i risultati proprio in quelle variazioni del territorio più difficilmente evidenziabili all'occhio umano.

### **Bibliografia**

- Canty M. J., Nielsen A. A., Schmidt M. (2004), Automatic radiometric normalization of multitemporal satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*.
- Caprioli, M., Figorito, B., Tarantino, E., (2006). Radiometric Normalization of Landsat Etm+ data for Multitemporal Analysis. In: *Proceedings of ISPRS Commission VII Mid-Term Symposium on "Remote Sensing: from Pixels to Processes"*, Enschede.
- Coppin, P., Jonckheere, I., Nackaerts, K., Muys, B., & Lambin, E., (2004). Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. *International Journal of Remote Sensing*
- 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*.
- Furby S. L., Campbell N. A. (2001), Calibrating images from different dates to 'like-value' digital counts. *Remote sensing of Environment*.
- Hong, G., Zhang, Y., (2005). Radiometric Normalization of Multisensor Multispectral Very High Resolution Satellite Images. In: *Proceeding of IEEE/ISPRS 3rd International Symposium Remote Sensing and Data Fusion Over Urban Areas (URBAN 2005)*, Tempe, Arizona, USA.
- Jungho, I., Jensen, J. R., (2005), A change detection model based on neighborhood correlation image analysis and decision tree classification. *Remote Sensing of Environment*.
- Mingsheng Liao, Lu Zhang, Hui Lin(2005), Change detection in multispectral imagery from multisensor *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2005. IGARSS '05. Proceedings*.
- XIA Song, LI Deren,(2007) Research on key points of 3D change detection of geospatial database *ISPRS Workshop on Updating Geo-spatial Databases with Imagery & The 5th ISPRS Workshop on DMGISs*



## **Ottimizzazione della rappresentazione di immagini termografiche per la valutazione delle strutture tramite rilievi laser scanner**

Gabriella Caroti, Sergio Di Tondo, Andrea Piemonte

Laboratorio A.S.T.R.O., Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Pisa, Largo Lucio Lazzarino 1  
56123 PISA, Tel. 050 221 7770, Fax 050 221 7779, e-mail g.caroti@ing.unipi.it

### **Riassunto**

Lo studio per la valutazione dello stato di conservazione degli strati superficiali delle murature degli edifici o per evidenziare discontinuità sia strutturali sia materiche o per individuare interventi con inserzioni di materiali differenti da quelli preesistenti, come ad esempio tamponature di porte e finestre, si basa sia sull'interpretazione dell'ispezione visiva di operatori esperti del settore sia sull'applicazione di tecniche diagnostiche distruttive o non distruttive. Tra queste ultime quella che negli ultimi anni è stata applicata con successo nell'ambito ingegneristico e nel settore dei Beni Monumentali è la termografia all'infrarosso.

Questa tecnica non prevede il contatto con la superficie dell'oggetto da verificare e fornisce come risultato finale una mappa a colori (termogramma) della risposta termica dell'oggetto ad una sollecitazione termica naturale o artificiale. L'analisi del termogramma mette in evidenza le eventuali anomalie termiche dell'oggetto e quindi permette di individuare le singolarità (ad esempio distacchi, lesioni, materiali occlusi, ...) causa delle anomalie termiche rilevate.

La tecnica termografica non prevede in generale di eseguire anche misure per la georeferenziazione del termogramma e questo può portare limitazioni nell'utilizzo del risultato finale.

Sono ormai noti quali vantaggi offra la tecnologia del laser scanner alla modellazione 3D di oggetti. Le sue potenzialità nella conoscenza metrica tridimensionale possono essere applicate anche alle misure termografiche al fine di collegare lo studio termico alla posizione ed alla geometria degli oggetti rilevati.

Questo lavoro presenta una metodologia di rappresentazione dell'immagine termografica integrata con le informazioni geometriche derivanti da un rilievo laser ad alta risoluzione.

Un modello ad alta risoluzione può servire per georiferire le immagini termografiche, che ne vanno poi a costituire la texture. Da questo modello vengono ricavate delle normal map e, quindi, delle mappe di rugosità della superficie. Applicando tali mappe ad un modello a bassa risoluzione, si conservano dal punto di vista estetico tutte le informazioni geometriche delle variazioni locali ma si può gestire un modello molto più snello. Sovrapponendo, infine, al modello a bassa risoluzione la mappa di rugosità e l'immagine termografica si può procedere all'analisi integrata delle informazioni geometriche e termografiche.

### **Abstract**

Studies to assess the conditions of the surface layers of the walls of buildings, or to highlight discontinuities both structural and material, or to identify interventions with insertions of materials differing from existing ones (e.g. cladding of doors and windows), are based both on visual inspection by industry experts and on the application of diagnostic techniques, both destructive and non destructive. Among the latter is infrared thermography which, in recent years, has been successfully used in both engineering and cultural heritage surveys.

This technique does not require surface contact with the investigated object and provides, as an end result, a color map (thermogram) of the object's thermal response to a natural or artificial heat

stress. Analysis of the thermogram shows any thermal anomalies of the object, hence allowing to detect any related irregularities such as detachments, cracks, clogged materials.

In general, the thermographic technique does not provide for the georeferencing of the thermogram, which can lead to limitations in the use of the final result.

The advantages the technology of laser scanning for 3D-modeling objects are by now well known. Its 3D-related abilities can also be applied to thermographic measurements, in order to connect thermal analysis with the space position and geometry of survey objects.

This paper presents a methodology for thermal representation of the image integrated with the geometric information from a high-resolution laser survey.

High-resolution models can be used to georeference thermographic images, which are in turn used as model textures. These models then yield both normal and surface roughness maps. Applying these maps to low-resolution models preserves all the geometrical information of the local variations; much more lightweight models can also be used. Finally, the overlay of low-resolution models with maps of surface roughness and thermographic images allows for integrated analysis of thermographic and geometric information.

### **Introduzione**

Il Laboratorio A.S.T.R.O. del Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Pisa sta conducendo delle sperimentazioni rivolte all'utilizzo di laser a scansione per la generazione di modelli tridimensionali finalizzati al calcolo strutturale ed al monitoraggio degli edifici.

L'utilizzo di immagini termografiche è una delle possibili tecniche non distruttive per l'analisi dello stato delle murature. L'articolo descrive la metodologia di acquisizione e di elaborazione geometrica del dato laser e delle immagini termografiche per ricavare dalla fusione delle informazioni delle due tecniche di rilievo un prodotto utile all'analisi dello stato dei paramenti murari dell'edificio.

La struttura sulla quale è stata testata la metodologia è lo Scoglio della Regina a Livorno.

### **Termografia applicata alla diagnosi energetica degli edifici**

EuroTEC PISA ha messo gentilmente a disposizione per il rilievo una termocamera FLIR 2B.

Una termocamera è costruttivamente simile ad una fotocamera. L'energia infrarossa proveniente da un oggetto viene concentrata dalla parte ottica, costituita da una lente in materiale trasparente all'infrarosso, su un sensore sensibile alla radiazione infrarossa. Attraverso un'opportuna elettronica di gestione e controllo, l'energia incidente sul sensore viene elaborata in modo da formare un'immagine, chiamata termogramma.

Il termogramma è un'immagine bidimensionale visualizzata mediante una scala di falsi colori, in diverse *palette* selezionabili dall'utente, che evidenziano quantitativamente l'intensità di radiazione incidenti sul sensore. In questo modo, possiamo percepire naturalmente quali zone del termogramma sono calde (rosso e bianco) e quali sono fredde (blu, verde, nero). Pertanto il termogramma a colori rende immediatamente visibili le differenze di temperatura all'interno dell'immagine stessa.

Quando la differenza di temperatura è la stessa attraverso tutta la superficie di involucro esaminata, le variazioni del flusso termico e le conseguenti difformità da temperatura superficiale indicano diversi valori locali della resistenza termica, ma possono anche essere dovute all'azione della convezione, alla presenza di impianti o ad altri fattori da indagare.

Le condizioni ambientali interne ed esterne devono essere scelte in modo da avere una differenza di temperatura sufficiente a rilevare i difetti, in relazione alla sensibilità della termocamera utilizzata. E' necessario, quindi, che la struttura da indagare venga riscaldata preventivamente dal Sole o tramite sistemi artificiali. Inoltre, prima dell'ispezione, deve essere nota la stratigrafia del muro da analizzare.

La termografia può individuare rapidamente ed in modo non distruttivo molti fattori: la presenza dell'umidità in vaste superfici, anche se si è in regime di transitorio termico, i difetti che consentono



all'aria di attraversare l'involucro edilizio (possono facilmente produrre variazioni di temperatura superficiale diverse volte più grandi di quelle risultanti da un elevato flusso termico), i ponti termici costituiti dai serramenti e dalle inserzioni metalliche, le tamponature dei vuoti e molti altri.

Le immagini termiche forniscono chiaramente informazioni non evidenti ad occhio nudo, mediante l'esplicitazione dei meccanismi alla base del trasferimento del calore. L'analisi termografica ha molte applicazioni: essa spazia dall'edilizia agli impianti elettrici e industriali in genere, alla medicina e veterinaria, alla scienza dei materiali, al settore aerospaziale, all'ispezione degli scafi ed altre ancora.

La realizzazione di nuovi edifici energeticamente efficienti è, e resterà, il tema guida per l'edilizia per molti anni a venire, finché progettisti e costruttori non ne avranno assimilato i corretti requisiti progettuali e realizzativi.

Il parco edilizio esistente costituisce, inoltre, un'enorme risorsa di indotto per il mercato delle costruzioni, in quanto l'aumento del costo del riscaldamento farà decidere molti proprietari ad avviare interventi di ristrutturazione con riqualificazione energetica.

In questo contesto la termografia è destinata a giocare un ruolo importante, una volta che i progettisti, i costruttori ed i privati avranno acquisito maggiore sensibilità e ne avranno compreso le enormi potenzialità di tecnica non distruttiva.

### **Rilievo laser scanner e restituzione del modello 3D**

Per il rilievo geometrico laser scanner è stata utilizzata una Scan Station Leica C10, messa a disposizione da Leica-Geosystem Italia. Date le precarie condizioni interne del fabbricato, non è stato possibile effettuare un rilievo degli interni ma solo della parte esterna. Per migliorare l'accuratezza in fase di registrazione, sono stati utilizzati riferimenti fissi disposti sulla scena inquadrata e riconosciuti in maniera semiautomatica dallo strumento di scansione. Le prime fasi dell'elaborazione sono state realizzate tramite il software Cyclone, di cui disponevamo una licenza temporanea di prova, anch'essa messa a disposizione da Leica-Geosystem Italia.

La nuvola di punti è stata utilizzata per la creazione delle piante, delle sezioni e dei prospetti dello stato attuale del fabbricato. Per le piante e le sezioni sono stati creati vari piani di taglio alle quote desiderate. Per inserire nelle piante e nelle sezioni lo spessore murario sono stati utilizzati dei precedenti rilievi celeri metrici degli interni opportunamente orientati ed allineati al rilievo laser scanner.

I prospetti, invece, sono stati generati effettuando la fotomosaicatura degli *screenshot* delle viste ortografiche del modello a nuvola di punti. Le immagini sono state mosaicate tramite il software Photoshop, utilizzando la griglia di riferimento di un *referenceplane* opportunamente importato nel software di visualizzazione della nuvola di punti. Infine, il fotomosaico è stato esportato e scalato in ambiente Autocad per la lucidatura finale. In figura 1 sono riportati a sinistra il modello a nuvola di punti e a destra il prospetto lucidato, sovrapposto allo *screenshot* della vista ortografica del modello stesso. Se disponibile, il modello a nuvola di punti è utile, quindi, per generare in modo speditivo gli elaborati classici (piante, sezioni e prospetti) necessari all'analisi degli edifici, dei quali si debba eseguire monitoraggi strutturali e progetti di conservazione e restauro.

La conversione da modello a nuvola di punti a modello a superficie poligonale triangolare è a tutti gli effetti una operazione di *re-topology*; le informazioni quantitative e qualitative del modello a punti vengono coerentemente interpretate e riadattate per una rappresentazione tassellata della frontiera (schema di rappresentazione che esplicita la superficie poligonale quadrangolare o triangolare). Le operazioni di conversione introducono alterazioni geometriche all'interno del modello, tuttavia le applicazioni informatiche dedicate permettono di valutare se l'entità delle deviazioni introdotte è coerente rispetto alle tolleranze ammesse dalle finalità del rilievo. Il passaggio dalla nube grezza di punti 3D prodotta dal sensore ad un reticolo di poligoni connessi fra loro, i cui vertici coincidono con i punti misurati (*mesh*), è quanto viene indicato con il termine *meshing*.



Figura 1 – Modello 3D a nuvola di punti e restituzione del prospetto principale.

Nel caso della nube di punti dello Scoglio della Regina, generata da un laser scanner a tempo di volo (TOF), essendo una *unstructured pointcloud*, la procedura di *meshing* fa uso del cosiddetto algoritmo di Delaunay. I punti 3D vengono proiettati sul piano e, individuati quelli a distanza minima, vengono tracciati i reciproci collegamenti; una volta determinati i triangoli nel piano i punti vengono riconsiderati nello spazio 3D mantenendo valide le connessioni a meno di una soglia angolare tra poligoni adiacenti o una massima lunghezza dei lati dei poligoni. Per questa elaborazione è stato utilizzato il software Geomagic Studio, nel quale sono implementati diversi algoritmi, efficienti nella rimozione del rumore presente nei dati. In particolare sono stati usati gli strumenti *select disconnect* (valuta la prossimità dei punti e seleziona gruppi di punti isolati), *select outlier* (seleziona i punti non appartenenti alla giacitura principale), *reduce noise* (rimozione statistica del rumore del laser), *uniform sample* (riduce uniformemente il numero di punti sulle superfici piane e mantiene una densità prefissata su quelle curve). La funzione *wrap* ha convertito, infine, la nuvola di punti in un modello *mesh*.

A questo punto il processo di *re-topology* è concluso. L'architettura rigida della rappresentazione tassellata della frontiera non ammette relazioni ambigue tra le entità che compongono il modello (vertici, spigoli e facce). Per questo motivo, le applicazioni software implementano strumenti di correzione degli errori topologici al fine di ottimizzare il modello computazionale, che, per essere utile ai nostri scopi, deve rispettare varietà topologica due.

Dopo aver effettuato la fusione per creare un unico reticolo poligonale, sono stati corretti, quindi, tali errori. Per tale correzioni sono stati utilizzati nuovamente degli algoritmi del software Geomagic Studio: *remove spikes* (riduce le sporgenze a singolo punto sulla *mesh* poligonale), *fill holes* (algoritmo utilizzabile in modo automatico, semiautomatico e manuale per colmare le lacune di dati del modello, in modalità singola lacuna o *batch*), *sand paper* (leviga la superficie riducendo ulteriormente il rumore), *mesh doctor* (esamina il modello completo individuando le residue imperfezioni: autointersezioni, *spikes*, poligoni piccoli isolati, *tunnel* e fori).

Il modello ottenuto al termine del processo di *meshing* può presentare un tale sovra-campionamento di poligoni da non renderlo direttamente utilizzabile per applicazioni interattive. Bisogna procedere, quindi, alla decimazione del numero di poligoni che descrivono la superficie. Tale decimazione deve essere definita in funzione dell'utilizzo previsto per il modello. Per le applicazioni di calcolo strutturale e monitoraggio è stato necessario produrre due modelli diversi con parametri di

decimazione diversi. Sono stati creati un modello ad alta densità di poligoni (*high poly*) per le applicazioni in campo architettonico e l'integrazione con le informazioni termografiche ed un modello a bassa densità di poligoni (*low poly*) per rendere lo stesso modello più leggero, pur mantenendo le caratteristiche formali e geometriche, ed utilizzarlo nella creazione di *shell* per i programmi di analisi strutturale.

Gli algoritmi di riduzione del numero di poligoni e, quindi, di semplificazione del modello, forniscono dei parametri per monitorare, seppur parzialmente, le variazioni geometriche introdotte in relazione alla precisione iniziale.

Il modello ad alta densità di poligoni, denominato *high poly*, è stato creato cercando di mantenere il maggior numero di poligoni, conservando, quindi, le caratteristiche di rugosità dei materiali della superficie esterna e mantenendo evidenti anche le più piccole scrostature dell'intonaco e le diverse *texture* presenti sulle facciate. Inoltre, nel modello sono state conservate anche tutte le componenti non strutturali, come bozze, soglie e cornici, in modo da avere il maggior grado di dettaglio possibile.

Una volta ottenuto il modello completo dello Scoglio, è stato realizzato il *texture mapping*, ossia sono state aggiunte al modello a *mesh* poligonali le informazioni riguardanti il materiale ed i dettagli formali senza modificarne la complessità geometrica. Ciò è stato ottenuto proiettando opportunamente un'immagine (*texture*) sulla superficie dell'oggetto, che è resa fruibile al momento della restituzione visiva del modello, o *rendering*. La *texture* è tipicamente un'immagine digitale che riproduce la variazione cromatica di una superficie. Nella nostra sperimentazione, tuttavia, le *texture* sono state utilizzate per simulare sia le caratteristiche visive come colore, lucidità, trasparenza, rifrazione, che associare al modello le informazioni ottenute dal rilievo con la termocamera, utilizzando proprio come *texture* le immagini termografiche.

Il modello a bassa densità di punti, denominato *low poly*, è stato creato per due utilizzi principali, il primo per ottenere un modello necessario al calcolo strutturale, il secondo per avere un modello più leggero al quale poter applicare le immagini termografiche. Per il calcolo strutturale bisogna creare un modello molto snello, che possa essere computato nel programma di calcolo, vanno tolti tutti gli elementi non strutturali come soglie, infissi, cornici e bozze, va individuata la superficie media tra quella esterna ottenuta dalla nuvola di punti e quella interna (tale superficie va poi suddivisa in *mesh* poligonali alle quali viene attribuito lo spessore della parete).

Per creare questo modello più snello è stata effettuata una decimazione del numero di poligoni in modo da ottenere delle *mesh* triangolari con lunghezza dei lati inferiore a cinquanta centimetri, mantenendo la priorità di curvatura per avere un numero maggiore di *mesh* nelle zone più critiche e riuscendo in questo modo ad ottenere un modello semplificato a 35.000 triangoli.

Per l'applicazione delle immagini termografiche, è stato utilizzato direttamente questo modello completo, seppure decimato, nel quale sono state mantenute le informazioni riguardanti componenti non strutturali. Per riportare le informazioni materiche e morfologiche, che sono state perse nel passaggio dal modello *high poly* a quello *low poly*, sono state ricavate delle *texture* dal modello ad alto numero di poligoni (*high poly*) nelle quali l'orientamento delle normali delle *mesh* poligonali della superficie ad alta densità è stato tradotto in pixel di diversa gradazione di colore tramite un'operazione di *baking* e applicato alla superficie a bassa densità. Una volta utilizzate le *texture* per la rugosità sono state applicate le immagini termografiche con lo stesso procedimento del *texture mapping*, riuscendo in questo modo a localizzare correttamente tutte le informazioni che si possono ricavare da un rilievo termografico.

Il procedimento è stato effettuato con il software Modo nel quale è stato utilizzato lo strumento *baking* (genera la *normal map* dal modello ad alta densità di poligoni) ed è stata applicata la *normal map* al modello *low poly* come proprietà del materiale utilizzando il canale *normal*. In questo modo il modello a bassa densità di poligoni non cambia la sua geometria ma si ottiene solo un'introduzione di ombre attraverso lo *shader*. Con il comando *export UV to EPS* è stata esportata poi la mappa UV e rasterizzata a 1024x1024 pixel.

Quindi, per applicare l'immagine termografica, è stato utilizzato il programma Lightwave 3D, nel quale, una volta importato il modello, sono state impostate due camere, una per il *front projection*, che deve avere la stessa risoluzione dell'immagine termografica e serve per ottenere la stessa inquadratura del modello fatta con la termocamera al momento del rilievo, l'altra, chiamata *bake camera*, che serve proprio per il *baking*, ossia per associare il colore dell'immagine termografica alla mappa UV. Il *camera matching* viene poi effettuato tramite un *plugin* che permette di unire i punti del modello con i punti omologhi dell'immagine termografica.

Il risultato è, quindi, un modello geometricamente semplificato facilmente gestibile dai software di visualizzazione, che mantiene però, grazie alle *texture* sovrapposte, tutte le informazioni del modello ad alta densità (Figura 2).

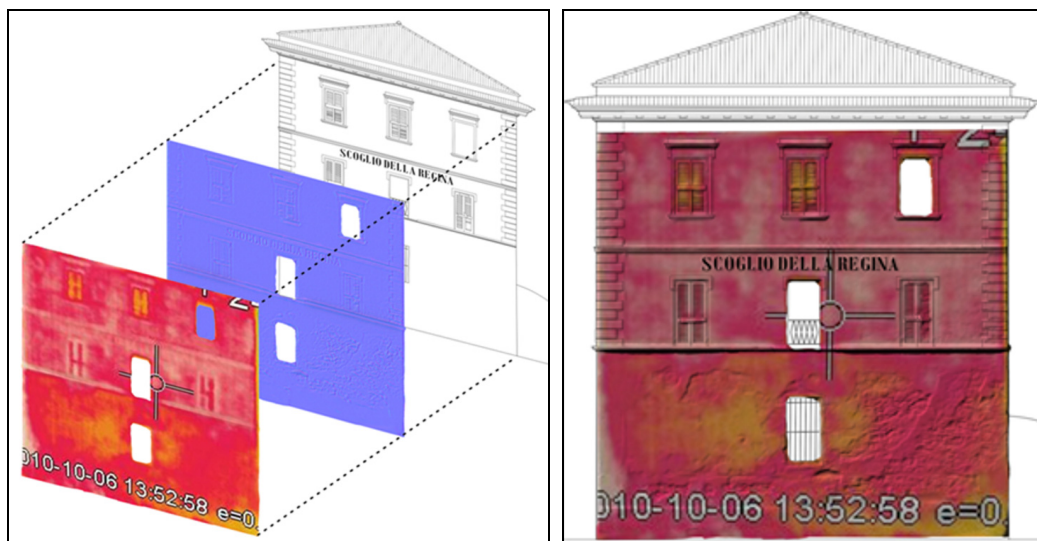


Figura 2 – Normal map ed immagine termografica sovrapposte.

## Conclusioni

Nel caso si disponga di un rilievo laser scanner di un edificio, sul quale si voglia effettuare un'indagine termografica, è possibile migliorare le informazioni delle immagini della termocamera grazie alle informazioni geometriche ad alta densità della nuvola di punti e del modello poligonale derivato.

Queste informazioni, opportunamente elaborate ed integrate tramite software tipici della modellazione architettonica, possono associare all'immagine termografica, non legata alla geometria della struttura, la georeferenziazione e, appunto, la caratterizzazione geometrica dettagliata.

## Riferimenti bibliografici

Cengel Y.C. (1998), "Termodinamica e trasmissione del calore", McGraw-Hill

Holst H.C. (2000), "Common sense approach to thermal imaging", SPIE, The International Society for Optical Engineering.

## Ringraziamenti

Si ringrazia Leica-Geosystem Italia ed in particolare EuroTEC PISA per il supporto nella fase di rilievo e per gli strumenti hardware e software forniti per la sperimentazione. Si ringrazia, inoltre, la Dott.ssa Azzurra Franconi per la collaborazione nell'esecuzione e nell'elaborazione dei rilievi.

## **La Sorveglianza Marittima Integrata operata dalla Guardia Costiera Italiana in ambito Security, antinquinamento e Pesca**

Dario Cau (\*), Luigia Caiazzo (\*\*), Walter Conti (\*\*\*),  
Gordon Campbell (\*\*\*\*), Dino Quattrociochi (\*\*\*\*\*)

(\*) Comando generale delle Capitanerie di Porto, Viale dell'Arte 16, 06/59084864, dario.cau@mit.gov.it

(\*\*) Comando generale delle Capitanerie di Porto, Viale dell'Arte 16, 06/59084409, luigia.caiazzo@mit.gov.it

(\*\*\*) Comando generale delle Capitanerie di Porto, Viale dell'Arte 16, 06/59084409, walter.conti@mit.gov.it

(\*\*\*\*) ESA, Frascati, 06 94180406, Gordon.Campbell@esa.int

(\*\*\*\*\*) e-GEOS, 71, via Cannizzaro 00156, Rome, dino.quattrociochi@e-geos.it

### **Abstract**

La tecnologia satellitare, a supporto dell'attività della Guardia Costiera Italiana, integrata con i sistemi di monitoraggio del traffico marittimo, al fine di migliorare la "Maritime Picture". L'integrazione delle informazioni satellitari con i sistemi in uso alla Guardia Costiera rappresenta, al momento, l'unico mezzo per individuare i cosiddetti "bersagli non cooperanti". Le immagini satellitari, inoltre, permettono di seguire i target in alto mare, anche quando l'elevata distanza dalla costa non consente di tracciarli con sistemi radar da terra. Pertanto, oggi, lo strumento satellitare viene utilizzato, unitamente ai sistemi di controllo del traffico, a supporto delle attività di monitoraggio ai fini dell'antinquinamento, del contrasto alle attività illegali, così da consentire agli utenti "operativi", quali la Guardia Costiera Italiana, di esercitare la sorveglianza marittima integrata. L'osservazione satellitare del traffico marittimo viene effettuata al fine di ottenere informazioni su posizione e velocità dei bersagli (qualora sia visibile la scia lasciata dalla nave sulla superficie del mare), nonché le dimensioni dei target e, per interpolazione tra due o più immagini successive, la rotta. L'identificazione del target avviene poi mediante la correlazione della "ship detection" da satellite, con i sistemi di monitoraggio del traffico, quali AIS, VMS e LRIT. A differenza dei sistemi appena menzionati, il sensore satellitare è un sensore cosiddetto "passivo" e, pertanto, permette di individuare tutti i bersagli presenti in uno scenario (fatta eccezione solo per le unità molto piccole): mediante la correlazione e dunque il confronto delle due tipologie di informazioni è possibile individuare quelli che sono i "bersagli sospetti. Per quanto riguarda, invece, il monitoraggio degli inquinamenti, i moderni algoritmi consentono di ottenere l'individuazione delle macchie di idrocarburo presente sulla superficie del mare, classificate in base al grado di affidabilità (sulla base di una serie di parametri meteo marini). La "ship detection" da satellite e l'integrazione con i sistemi del traffico permettono poi di effettuare le indagini sul possibile autore dello sversamento.

Solitamente lo sviluppo di tali tecnologie avviene mediante la collaborazione degli utenti operativi (Guardie Costiere, etc..) con i service provider, nell'ambito di progetti e servizi finanziati dalla Comunità Europea. La Guardia Costiera Italiana ha partecipato, negli ultimi anni a numerosi di tali progetti, quali: MARCOAST, divenuto poi il servizio CleanSeaNet dell'EMSA, LIMES (Land and Sea Integrated Monitoring for EU Security), European Commission Integrated Project and MARISS (European Maritime Security Services), poi MARISS Scaling-Up, ed infine nell'ambito dei servizi GMES il servizio G-MOSAIC e P-MAR con il JRC della CE per la Security.

I dati da satellite, sia SAR (Synthetic Aperture RADAR) che ottici, rappresentano un importante supporto anche nell'attività di controllo pesca, in particolare ai fini dell'individuazione delle "IUU fishing vessels".

**Parole chiave:** Maritime Surveillance, Ship Detection, sensori attivi e passivi, IUU fishing vessels.





## **Analisi delle dinamiche territoriali attraverso l'indagine diacronica della copertura del suolo: il caso della Piana del Fucino**

Dora Ceralli

ISPRA, Roma, Via Curtatone 3, 00185, Tel. 06750074663, e-mail: dora.ceralli@isprambiente.it

### **Riassunto**

Il presente lavoro ha voluto utilizzare la copertura del suolo quale indicatore delle trasformazioni territoriali che hanno interessato la Piana del Fucino dal 1954 al 2000. Attraverso l'elaborazione di differenti fonti informative (documentazione cartografica, documentazione storica di archivio, banche dati alfanumeriche) relative agli anni 1954, 1985 e 2000 sono stati prodotti dati di copertura del suolo, la cui informatizzazione e analisi diacronica ha permesso di ricostruire le tendenze evolutive del territorio in esame. In sintesi, è stato possibile individuare e descrivere come qualitativamente e quantitativamente, sono variate le categorie individuate ed ottenere i seguenti risultati:

- confronto cartografico della copertura del suolo nei tre anni di riferimento;
- variazioni delle superfici relative alle categorie di copertura del suolo considerate;
- carta delle dinamiche territoriali relative ai periodi storici 1954-1990 e 1990-2000.

### **Abstract**

This work aims to show how the land cover can be used as an indicator of the territorial transformations that affected the Fucino Plains from 1956 to 2000. Through the processing of data from different information sources (cartography, historical documentation archives, alphanumeric databases) related to years 1956, 1985 and 2000, land cover data have been generated. The computerization and diachronic analysis of land cover has also enabled us to reconstruct the evolutionary trends of the territory in question. In short, it was possible to provide a quantitative and qualitative description of the transformation of the identified categories, reaching the following results:

- cartographic comparison of the land cover in the reference years;
- changes in the areas relating to the categories of land cover in question;
- map of the territorial dynamics related to the historical periods 1954-1990 and 1990-2000.

### **Premessa**

L'analisi delle trasformazioni subite nel tempo da parte di una certa area, non può prescindere dal considerare la copertura del suolo indicatore importante nella valutazione di questa trasformazione. Il presente lavoro ha, di fatto, utilizzato proprio la copertura del suolo quale rilevatore delle trasformazioni che hanno interessato la Piana del Fucino, area soggetta a forte antropizzazione e a vocazione marcatamente agricola del centro Italia, dal 1954 al 2000.

Per l'analisi diacronica di tale indicatore si sono considerate fonti diverse, relative agli anni 1954, 1985-1990, 2000, dalle quali sono stati elaborati altrettanti strati informativi che, integrati in un SIT, hanno permesso di ricostruire le tendenze evolutive del paesaggio della Piana del Fucino.

La prima data costituisce un momento particolarmente importante per gli studi del paesaggio a livello nazionale, non solo perché ad allora risale la prima copertura fotogrammetrica dell'intero territorio italiano, ma anche perché, a partire da quella data, hanno inizio le trasformazioni

economiche e sociali che hanno determinati l'evoluzione del territorio dal dopo guerra ad oggi (spopolamento delle campagne, meccanizzazione ed intensivizzazione dell'agricoltura, rimboschimenti, industrializzazione delle aree periurbane, concentrazione demografica nelle città, realizzazione di grandi infrastrutture viarie, ecc).

La seconda data fa riferimento all'indagine sulla copertura del suolo legata al progetto CORINE land Cover ed è basata su una metodologia standard a livello europeo. La terza data corrisponde all'uso suolo attuale messo a disposizione dalla regione Abruzzo.

Il lavoro ha attraversato le seguenti tappe metodologiche:

- acquisizione, analisi e validazione dei dati esistenti;
- creazione dei *layers* tematici in formato *shape* per l'introduzione degli stessi in un SIT;
- analisi dinamica del territorio;
- generazione di nuovi dati attraverso specifici indicatori;
- sintesi cartografica.

In merito alla valenza dei risultati si ritiene importante evidenziare alcuni aspetti qualificanti questa parte dell'analisi, insiti nella metodologia proposta e attuata:

- la molteplicità dei dati trattati;
- la complessità delle elaborazioni effettuate;
- le indicazioni qualitative e quantitative che ne possono scaturire per la pianificazione territoriale futura.

### **Descrizione ed acquisizione dei dati utilizzati**

La ricerca, l'acquisizione e l'analisi critica sia della documentazione cartografica che degli archivi e delle banche dati alfanumeriche, sono stati momenti chiave per la corretta impostazione e il corretto sviluppo dell'analisi relativa all'uso del suolo.

Sono stati innanzitutto acquisiti i dati dell' *Atlante del territorio rurale abruzzese* con approfondimento al 1996 edito dall'ARSSA nel 1998. Tale Atlante presenta scale di dettaglio a 1: 100.000 per la rappresentazione cartografica. Lo stesso Atlante è stato utilizzato per l'elaborazione dell'uso suolo relativo all'anno 1954 e 1990.

Si è, inoltre fatto uso delle seguenti fonti cartografiche:

- CORINE Land Cover – Abruzzo – in scala 1:100.000 a 44 classi, realizzata per conto del Ministero dell'ambiente e dell'Unione Europea (anno di riferimento 1990);
- carta dell'uso del suolo della Regione Abruzzo, anno 1985, scala 1: 25.000;
- carta dell'uso del suolo della Regione Abruzzo, anno 2000, scala 1: 25.000.

#### Carta dell'uso del suolo del 1954

La situazione del territorio nel 1954, dal punto di vista della copertura del suolo, è stata ricavata dall'analisi della cartografia della regione Abruzzo presentata nel progetto "*Atlante Rurale*" e prodotta attraverso fotointerpretazione in stereoscopia delle riprese pancromatiche I.G.M.I. in scala 1: 33.000. Questa copertura fotografica si presenta in buona qualità e consente di discriminare agevolmente le categorie d'uso del suolo secondo la classificazione CORINE. Le superfici delle classi risentono dell'approssimazione apportata dall'unità minima cartografabile imposta dalla metodologia di creazione della carta (25 ha).

#### Carta CORINE Land Cover-1990

Il progetto *CORINE Land Cover*, ideato dall'Unione Europea alla fine degli anni ottanta, è finalizzato alla costruzione di una banca dati europea che gestisce tutti i dati territoriali ambientali dei paesi dell'Unione. La metodologia di costruzione del dato si basa sull'uso di *Landsat Thematic Mapper* (tecnica di rilevamento satellitare), integrate da foto aeree di origine diversa. Le specifiche di base, considerando le caratteristiche ambientali dei paesi comunitari, definiscono in 25 ha la superficie dell'unità minima cartografabile, insieme ad una legenda che si va a strutturare su tre livelli.

Il primo livello comprende 5 classi: territori modellati artificialmente, territori agricoli, territori boscati e ambienti seminaturali, zone umide, corpi idrici; il secondo livello presenta 15 classi e il terzo, che rappresenta la fase più approfondita del lavoro (esiste, in alcune aree, un quarto livello a carattere locale), ne va a definire 44.

La cartografia realizzata per la regione Abruzzo nel 1990 appartiene al primo gruppo di regioni italiane interessate da questo progetto. Tutta la cartografia è stata aggiornata utilizzando immagini satellitari coeve sovrapposte al file vettoriale esistente; è stata, inoltre, eseguita la correzione geometrica del file, relativamente alle proiezioni cartografiche in uso.

Per questo lavoro, inoltre, è stato necessario rielaborare la geometria di tutti i poligoni per ottenere una buona sovrapponibilità di tutti i file presenti nell'intero sistema. La cartografia *Land Cover* per la regione Abruzzo, è stata quindi completamente rigenerata e da essa si è ulteriormente estrapolata quella relativa alla Conca del Fucino, territorio oggetto dell'analisi. Si è così ottenuto un prodotto tematicamente e geometricamente nuovo, perfettamente integrabile nel SIT.

#### Carta dell'uso del suolo 1985 della Regione Abruzzo

Questa carta è realizzata sull'intero territorio regionale e indica l'utilizzazione del suolo ricompresa in 38 classi accordati per codice di interpretazione a quelli a suo tempo individuati dal *Centro Interregionale di Coordinamento e Documentazione per le Informazioni Territoriali*.

È stata realizzata attraverso la fotointerpretazione del volo regionale 1981-1985 in scala 1: 33.000 con il supporto e i controlli di campagna. L'estensione minima delle aree è uguale o maggiore ad 1 ha. L'alta definizione e complessità di questa carta, ha fatto sì che essa fosse utilizzata solamente come consultazione per contribuire a creare, insieme alla carta *Corine Land Cover 1990*, l'uso suolo relativo al periodo 1990.

#### Carta dell'uso del suolo 2000 della Regione Abruzzo

Per poter estendere l'analisi storica al tempo reale ed osservare quale è il trend evolutivo delle variazioni dell'uso del suolo, si è ricorso alla cartografia prodotta, in formato *shape*, dalla Regione Abruzzo. Il riferimento principale dal quale sono stati tratti i limiti geometrici di tale dato è rappresentato dalle ortoimmagini dell' AIMA del 1997 a scala 1: 10.000 e dalle immagini del satellite *Landsat TM5* di risoluzione 30 metri.

La legenda deriva direttamente da quella *CORINE Land Cover* ed è strutturata in quattro livelli di approfondimento. Il sistema di riferimento adottato da tale cartografia è quello Gauss Boaga.

Appare chiaro dalle caratteristiche tecniche appena elencate che tale carta ha necessitato di ulteriori variazioni per rendere tale dato compatibile con tutti gli strati tematici presenti nel SIT. È stato, innanzitutto, necessario riportare il sistema di riferimento a quello utilizzato per tutta la ricerca (*UTM International 1909, datum European 1950, fuso 33*) attraverso una operazione di conversione di coordinate spaziali. L'eccessivo dettaglio della carta (quarto livello rispetto al terzo utilizzato dalle altre carte) ha comportato, inoltre, un accorpamento di classi per rendere i dati relativi ai tre periodi considerati, completamente comparabili.

#### **Metodologia adottata nell'analisi e nell'elaborazione dei dati**

Il nucleo di questo lavoro è il database geografico, cioè l'archivio numerico in cui sono memorizzati e organizza i dati spaziali e descrittivi. L'integrazione all'interno del database di fonti differenti per origine, scala e tecniche di acquisizione, ha richiesto un accurato intervento di normalizzazione, per rendere tutti i dati confrontabili fra loro.

In alcuni passaggi, i singoli lavori, hanno dovuto seguire procedimenti differenti a causa dei diversi formati con cui i dati sono stati resi disponibili. Si sono, a volte, riscontrate alcune discrepanze che hanno reso necessari alcuni aggiustamenti:

- scarso o eccessivo dettaglio tematico (diversi livelli di approfondimento e di sistemi di classificazione);
- scarso o eccessivo dettaglio geometrico (unità minima di risoluzione e scale cartografiche non congruenti).

Questo non ha, tuttavia, compromesso l'unitarietà del lavoro, ma anzi lo ha arricchito dal punto di vista metodologico. L'acquisizione delle varie fonti ha portato ad ottenere una serie di *layers* vettoriali georiferiti relativi al tematismo uso del suolo che, codificati secondo una comune legenda, sono serviti da base per l'analisi delle trasformazioni e per la realizzazione di carte di sintesi delle tendenze evolutive.

I maggiori sforzi si sono concentrati nel ricondurre tutti i dati al sistema di riferimento UTM, Fuso 33, con coordinate geografiche riferite all'Ellissoide Internazionale (*International 1909*) con Orientamento Medio Europeo (*European Datum 1950*), scelto per tutti i dati presenti nel SIT.

Si è poi verificata la qualità dell'*overlay* tra le diverse coperture, tenendo in considerazione il fatto che esse sono state ottenute ciascuna ad una propria scala di riferimento; ciò significa che nella banca dati esistono dati ottenuti con la precisione dell'1 a 25.000 con dati ottenuti a scala di minor dettaglio. Azioni correttive sono state attivate qualora la qualità della sovrapposizione non era soddisfacente. L'altro punto su cui si è focalizzata la ricerca metodologica è quello relativo alla riclassificazione degli usi del suolo in base ad una legenda unica (figura 1) strutturata in un numero di classi tali da consentire il confronto e la lettura cartografica dei dati.

### Descrizione delle Carte di Uso Suolo prodotte

Dall'analisi e dalla elaborazione delle fonti precedentemente descritte, si sono prodotti tre *layers* in formato *shape* e tre carte tematiche (non riportate per mancanza di spazio) che rappresentano la situazione della copertura del suolo relativamente a tre precisi momenti storici: 1954, 1990, 2000. È stato necessario, data l'alta eterogeneità delle fonti utilizzate, riclassificare le categorie di uso del suolo in base alla legenda riportata in figura 1, strutturata in 17 classi.

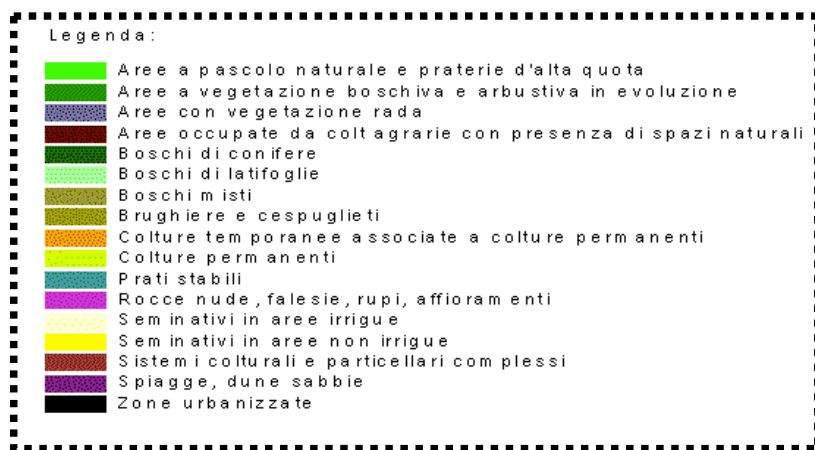


Figura 1 – Legenda utilizzata per la realizzazione della cartografia di copertura del suolo.

Questo passaggio è stato fondamentale per ottenere un confronto e una lettura dei dati capace di rispondere alle esigenze dell'analisi in oggetto. Come riferimento si è scelta la legenda CORINE *Land Cover*, anche se opportunamente sintetizzata e modificata. Si elencano di seguito le classi adottate con una dettagliata spiegazione delle stesse.

Zone urbanizzate: in questa classe sono state inserite tutti i territori modellati artificialmente. Comprende, in particolare, tutte le aree classificate come tessuto urbano continuo, zone industriali e commerciali, aree estrattive, discariche e cantieri.

Seminativi in aree non irrigue: questa categoria è costituita da cereali, leguminose in pieno campo, colture foraggere, vivai, colture orticole in pieno campo, in serra e sotto plastica, impianti per la produzione di piante medicinali, aromatiche e culinarie.

Seminativi in aree irrigue

Prati stabili: in questa classe sono comprese tutte quelle aree a copertura erbacea densa e a composizione floristica rappresentata in prevalenza da graminacee non soggette a rotazione.

Colture temporanee associate a colture permanenti: la categoria comprende colture temporanee (seminativi o prati) in associazione con varie colture permanenti sullo stesso territorio. L'entità delle colture annuali non associate deve essere il 24% della superficie totale.

Sistemi colturali e particellari complessi: si tratta di mosaici di piccoli appezzamenti con varie colture annuali occupanti meno del 75% della superficie totale del singolo appezzamento.

Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali: in questa classe sono inserite le aree che presentano colture agrarie occupanti una superficie maggiore del 25% e minore del 75% della totale.

Colture permanenti: questa classe è costituita da colture non soggette a rotazione; si tratta per lo più di vigneti, frutteti e frutti minori e oliveti..

Boschi di latifoglie: si tratta di territori occupati da formazioni vegetali costituite da alberi, cespugli e arbusti, nelle quali dominano le specie a latifoglie. Le superfici a latifoglie (soprattutto faggete ma anche pioppeti) devono coprire almeno il 75% dell'unità.

Boschi di conifere: formazioni vegetali costituite in prevalenza da alberi, ma anche da cespugli e arbusti in cui dominano le specie resinose. Le superfici a conifere devono coprire almeno il 75% dell'unità. Si tratta quasi esclusivamente di rimboschimenti, gran parte dei quali iniziati negli anni 1914-1918.

Boschi misti: formazioni vegetali costituite in prevalenza da alberi, ma anche da cespugli e arbusti in cui non dominano né le latifoglie, né le conifere. Si tratta di nuclei non troppo consistenti.

Aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota: fanno parte di questa categoria tutte le aree foraggere a bassa produttività, spesso situate in zone impervie;

Brughiere e cespuglieti: comprende formazioni vegetali basse e chiuse, composte in prevalenza di cespugli, piante erbacee (eriche, rovi, ginestre), arbusti.

Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione: in questa classe sono presenti quelle aree occupate da formazioni costituite da vegetazione arbustiva o erbacea con alberi sparsi; sono, cioè, formazioni che possono derivare dalla degradazione della foresta o da una rinnovazione della stessa per ricolonizzazione di aree non forestali.

Spiagge, dune e greti fluviali: comprende spiagge, dune, distese di sabbia e ciottoli di ambienti litoranei, compresi i letti sassosi dei corsi d'acqua a regime torrentizio.

Rocce nude, falesie, rupi, affioramenti: si tratta di aree nude presenti alle quote più elevate.

Aree a vegetazione rada: sono aree dislocate nelle zone montane e nei terreni più sterili. Si tratta di territori, anche vasti, che hanno conosciuto eccessi di sfruttamento antropico, ma che per loro natura (esposizione e pendenze avverse, suoli poco profondi, clima impervio) possono difficilmente ospitare formazioni vegetali più fitte ed evolute.

### **Individuazione degli indicatori e creazione delle matrici di transizione**

Dall'elaborazione dei dati di copertura del suolo prodotti, è stata anche costruita la matrice di transizione per valutare non solo il tasso di cambiamento per l'intera area, ma anche quali categorie hanno subito variazioni e soprattutto, di quanto. In una matrice di transizione, gli elementi sulla diagonale sono un indice di stabilità rappresentando la quantità di ogni categoria che rimane la stessa; gli elementi che si trovano al di fuori della diagonale spiegano, invece, la dinamica, indicando il tasso di cambiamento di ciascuna unità nell'altra.

Sugli assi della matrice (in figura 2 è possibile visionare quella relativa agli anni 1954-1990) sono riportate le categorie della carta dell'uso del suolo relative ai periodi presi in esame (1954-1990; 1990-2000). In relazione a tutti i possibili incroci, vanno ad essere determinate situazioni di cambiamento e di persistenza. Gli studi sulle dinamiche della vegetazione e l'ecologia del paesaggio, hanno suggerito di adottare le seguenti forme di dinamismo:

1. *persistenza (P)*: tendenza a non manifestare nessuna modifica nella copertura del suolo;
2. *persistenza urbana (Pu)*: tendenza alla conferma e al consolidamento dell'edificato nelle zone urbanizzate;
3. *intensivizzazione (I)*: tendenza al consistente investimento sul fondo, di capitali e lavoro, come ad esempio nel caso di zone con colture specializzate, dove si può stimare un'alta redditività per superficie o del passaggio di aree incolte o di aree a pascolo in aree agricole;
4. *intensivizzazione urbana (Iu)*: modifica dell'uso del suolo verso utilizzi industriali o insediamenti abitativi che hanno comportato un aumento della superficie urbana;
5. *forestazione (F)*: rimboschimenti o tendenza di formazioni arbustive verso fitocenosi arboree;
6. *deforestazione (Df)*: scomparsa della copertura arborea per effetto di interventi antropici (apertura di nuovi pascoli) e naturali (azione del fuoco o eventi meteorici distruttivi);
7. *trasformazione (T)*: cambio dell'utilizzo del suolo dovuto all'azione dell'uomo sia in ambiente agricolo (passaggio di un seminativo ad una coltura eterogenea o permanente), sia in seno ad una formazione boschiva (cambio della composizione specifica);
8. *degrado (Dg)*: tendenza al degrado per interventi antropici o per situazioni geomorfologiche sfavorevoli;
9. *degrado boschivo (Db)*: regressione del bosco verso popolamenti molto aperti dove è presente una componente arbustiva ed erbacea a causa di eccessivo esercizio del pascolo, utilizzazioni boschive troppo intense o eventi metereologici avversi;
10. *dinamica naturale (Dn)*: tendenza alla modificazione naturale di assetti preesistenti. Il fenomeno più consistente è rappresentato dall'evoluzione delle superfici incolte o adibite a pascolo, verso formazioni forestali arboree e arbustive;
11. *abbandono (Ab)*: tendenza alla mancanza del presidio umano, dei suoi investimenti e delle sue attività sulle aree agricole.

Una volta acquisite in forma digitale le carte dell'uso del suolo del 1954, del 1990 e del 2000 e, stabilite le logiche relazioni, applicando la matrice suddetta, si ottiene la visualizzazione delle dinamiche territoriali relative ai periodi 1954-1990 e 1990-2000.



| <div>1990</div> <div>1954</div>                       | Seminativi in aree irrigue | Seminativi in aree non irrigue | Aree occupate da colt agrarie con spazi naturali | Aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota | Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione | Boschi misti | Boschi di conifere | Boschi di latifoglie | Brughiere e cespuglieti | Roccia nuda, falesie, rupi e affioramenti | Aree con vegetazione rada | Prati stabili | Sistemi colturali e particellari complessi | Culture temporanee associate a colture permanenti | Culture permanenti | Zone urbanizzate | Spiagge, dune e greti fluviali |
|-------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------|--------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------------------------|---------------------------|---------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------|------------------|--------------------------------|
| Seminativi in aree irrigue                            | 90,4                       | 2,5                            | 0                                                | 1,9                                             | 0                                                     | 0            | 0                  | 0                    | 0                       | 0                                         | 0                         | 0             | 0                                          | 3,2                                               | 1,3                | 0,6              | 0                              |
| Seminativi in aree non irrigue                        | 1,1                        | 71,1                           | 7,8                                              | 1,1                                             | 1,1                                                   | 0            | 1,1                | 0                    | 2,2                     | 0                                         | 2,2                       | 0             | 2,2                                        | 5,6                                               | 0                  | 4,4              | 0                              |
| Aree occupate da colt agrarie con spazi naturali      | 0                          | 32,1                           | 7,1                                              | 10,7                                            | 7,1                                                   | 0            | 3,6                | 0                    | 32,1                    | 0                                         | 3,6                       | 0             | 28,6                                       | 0                                                 | 0                  | 0                | 0                              |
| Aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota       | 0                          | 0                              | 0                                                | 43,5                                            | 0                                                     | 4,3          | 2,2                | 2,2                  | 34,8                    | 0                                         | 8,7                       | 0             | 0                                          | 0                                                 | 0                  | 0                | 0                              |
| Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione | 0                          | 0                              | 0                                                | 6,7                                             | 57,8                                                  | 31,1         | 0                  | 0                    | 0                       | 0                                         | 2,2                       | 0             | 0                                          | 0                                                 | 0                  | 2,2              | 0                              |
| Boschi misti                                          | 0                          | 0                              | 0                                                | 5,6                                             | 33,3                                                  | 22,2         | 22,2               | 5,6                  | 0                       | 0                                         | 5,6                       | 0             | 0                                          | 0                                                 | 0                  | 5,6              | 0                              |
| Boschi di conifere                                    | 0                          | 0                              | 0                                                | 55,6                                            | 0                                                     | 0            | 33,3               | 0                    | 11,1                    | 0                                         | 0                         | 0             | 0                                          | 0                                                 | 0                  | 0                | 0                              |
| Boschi di latifoglie                                  | 0                          | 0                              | 0                                                | 0                                               | 0                                                     | 0            | 0                  | 100                  | 0                       | 0                                         | 0                         | 0             | 0                                          | 0                                                 | 0                  | 0                | 0                              |
| Brughiere e cespuglieti                               | 0                          | 0                              | 0                                                | 20,0                                            | 0                                                     | 0            | 0                  | 0                    | 40,0                    | 20,0                                      | 0                         | 0             | 0                                          | 0                                                 | 0                  | 20,0             | 0                              |
| Roccia nuda, falesie, rupi e affioramenti             | 0                          | 0                              | 0                                                | 0                                               | 11,1                                                  | 0            | 22,2               | 0                    | 11,1                    | 55,6                                      | 11,1                      | 0             | 0                                          | 0                                                 | 0                  | 0                | 0                              |
| Aree con vegetazione rada                             | 0                          | 5,6                            | 0                                                | 33,3                                            | 11,1                                                  | 5,6          | 0                  | 0                    | 5,6                     | 0                                         | 27,8                      | 5,6           | 5,6                                        | 0                                                 | 0                  | 0                | 0                              |
| Prati stabili                                         | 0                          | 0                              | 0                                                | 33,3                                            | 0                                                     | 0            | 0                  | 0                    | 33,3                    | 0                                         | 11,1                      | 0             | 22,2                                       | 0                                                 | 0                  | 0                | 0                              |
| Sistemi colturali e particellari complessi            | 0                          | 38,7                           | 12,9                                             | 6,5                                             | 0                                                     | 0            | 3,2                | 0                    | 6,5                     | 0                                         | 3,2                       | 0             | 16,1                                       | 3,2                                               | 0                  | 9,7              | 0                              |
| Culture temporanee associate a colture permanenti     | 0                          | 0                              | 0                                                | 0                                               | 0                                                     | 0            | 0                  | 0                    | 0                       | 0                                         | 0                         | 0             | 0                                          | 100                                               | 0                  | 0                | 0                              |
| Culture permanenti                                    | 0                          | 20,0                           | 20,0                                             | 0                                               | 0                                                     | 0            | 0                  | 0                    | 0                       | 0                                         | 0                         | 0             | 60,0                                       | 0                                                 | 0                  | 0                | 0                              |
| Zone urbanizzate                                      | 0                          | 0                              | 0                                                | 0                                               | 0                                                     | 0            | 0                  | 0                    | 0                       | 0                                         | 0                         | 0             | 0                                          | 0                                                 | 0                  | 100              | 0                              |
| Spiagge, dune e greti fluviali                        | 0                          | 0                              | 0                                                | 0                                               | 0                                                     | 0            | 0                  | 0                    | 0                       | 0                                         | 0                         | 0             | 0                                          | 0                                                 | 100                | 0                | 0                              |

Figura 2 – Matrice di transizione relativa agli anni 1954-1990. Le caselle in verde e in giallo, rappresentano, rispettivamente, i valori percentuali di stabilità e di cambiamento.

### Descrizione e valutazione dei risultati

Attraverso l'elaborazione dei dati vettoriali prodotti in relazione all'uso suolo della Piana del Fucino, è stato possibile individuare e descrivere come, qualitativamente e quantitativamente, sono variare le categorie individuate. In particolare si sono ottenute le seguenti informazioni:

- confronto cartografico dell'uso del suolo nei tre anni di riferimento;
- variazione delle superfici relative alle categorie di uso del suolo considerate;
- carta delle dinamiche temporanee relativi ai periodi storici 1954-1990 e 1990-2000.

Considerando tutto l'intervallo temporale preso in esame (50 anni), si possono fare alcune considerazioni generali, rafforzate con maggior dettaglio dai risultati rappresentati nelle carte di

dinamica temporale prodotte. Va innanzitutto sottolineata l'inequivocabile vocazione agricola dell'intera area: in tutti e tre gli anni presi in esame, infatti, la parte di territorio sfruttata dall'uomo per fini agricoli va a superare abbondantemente le parti di territorio, il cui utilizzo, è finalizzato ad altro. A questo scopo è utile analizzare il dato riportato in figura 3, dove, anche se in dettaglio poco approfondito, sono riportate le abbondanze percentuali relative a tre grandi gruppi di sfruttamento del territorio (macrocategorie).

| CATEGORIE                                 | 1954 | 1990 | 2000 |
|-------------------------------------------|------|------|------|
| Territori agricoli                        | 69.1 | 61.4 | 59.7 |
| Territori modellati artificialmente       | 1.7  | 3.9  | 7.6  |
| Territori boscati e ambienti seminaturali | 29.1 | 34.7 | 32.6 |

*Figura 3 – Abbondanze percentuali delle macrocategorie in esame negli anni 1954, 1990, 2000.*

Il trend relativo ai territori agricoli diminuisce del 10% a favore dei territori modellati artificialmente la cui percentuale si quadruplica nei 50 anni considerati.

La percentuale di territori boscati e ambienti seminaturali rimane quasi costante aumentando leggermente nel 1990 e diminuendo, fino a valori simili al tempo considerato origine, nel 2000.

Un'analisi più dettagliata, entrando nel merito di tutte le 11 classi prese in esame, può essere affrontata considerando la figura 5 dove è riportata l'abbondanza percentuale e l'estensione areale, espressa in ettari, di ogni tipologia di copertura del suolo.

Gli stessi dati sono rielaborati, per una maggiore leggibilità ed immediatezza di comprensione, nel grafico riportato in figura 4.

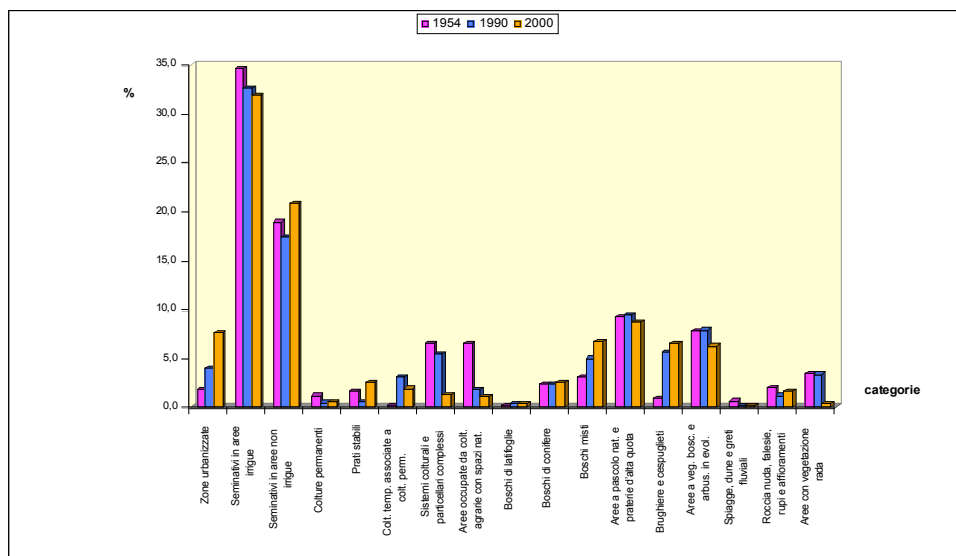


*Figura 4 – Abbondanza percentuale di ogni categoria di uso del suolo negli anni 1954, 1990, 2000.*

Analizzando i dati riportati appena descritti e soprattutto le matrici di transizione si possono fare le seguenti considerazioni:

nel range temporale considerato, l'estensione delle aree a fini agricoli decresce del 10%, in particolare si assiste ad una diminuzione dei seminativi irrigui e di tutte le altre tipologie di copertura del suolo affini ad attività agricole quali: colture permanenti, colture temporanee associate a colture permanenti, sistemi colturali e particellari complessi.

Per contro, si può notare, un aumento generale di seminativi non irrigui nelle aree perimontane, immediatamente prospicienti la Piana del Fucino.

| TIPOLOGIE DI USO DEL SUOLO                        | ESTENSIONE DELLE TIPOLOGIE (Ha) |             |             | ESTENSIONE DELLE TIPOLOGIE (%) |      |      |
|---------------------------------------------------|---------------------------------|-------------|-------------|--------------------------------|------|------|
|                                                   | 1954                            | 1990        | 2000        | 1954                           | 1990 | 2000 |
| Zone urbanizzate                                  | 763701,320                      | 1731551,970 | 3300467,675 | 1,7                            | 3,9  | 7,6  |
| Seminativi in aree irrigue                        | 15185369,02                     | 14303240,00 | 13886203,80 | 34,6                           | 32,6 | 31,9 |
| Seminativi in aree non irrigue                    | 8289651,620                     | 7605366,090 | 9059037,643 | 18,9                           | 17,3 | 20,8 |
| Colture permanenti                                | 492798,280                      | 184926,310  | 194060,207  | 1,1                            | 0,4  | 0,4  |
| Prati stabili                                     | 667930,970                      | 229803,850  | 1076938,695 | 1,5                            | 0,5  | 2,5  |
| Colt. temp. associate a colt. perm.               | 31836,280                       | 1315393,950 | 814579,802  | 0,1                            | 3,0  | 1,9  |
| Sistemi colturali e particellari complessi        | 2817526,810                     | 2359699,553 | 535379,129  | 6,4                            | 5,4  | 1,2  |
| Aree occupate da colt. agrarie con spazi naturali | 2833593,850                     | 804858,410  | 426695,520  | 6,5                            | 1,8  | 1,0  |
| Boschi di latifoglie                              | 44888,710                       | 149260,930  | 148413,451  | 0,1                            | 0,3  | 0,3  |
| Boschi di conifere                                | 1021007,702                     | 1023587,528 | 1061619,365 | 2,3                            | 2,3  | 2,4  |
| Boschi misti                                      | 1362437,815                     | 2161127,340 | 2870719,668 | 3,1                            | 4,9  | 6,6  |
| Aree a pascolo nat. e praterie d'alta quota       | 4003693,770                     | 4094005,061 | 3745894,690 | 9,1                            | 9,3  | 8,6  |
| Brughiere e cespuglieti                           | 378970,100                      | 2435079,810 | 2810091,883 | 0,9                            | 5,6  | 6,5  |
| Aree a veg. bosc. e arbus. in evoluzione.         | 3398238,920                     | 3431178,400 | 2710064,358 | 7,8                            | 7,8  | 6,2  |
| Spiagge, dune e greti fluviali                    | 264015,080                      | 56537,540   | 83184,295   | 0,6                            | 0,1  | 0,2  |
| Roccia nuda, falesie, rupi e affioramenti         | 827288,340                      | 503117,660  | 669447,949  | 1,9                            | 1,1  | 1,5  |
| Aree con vegetazione rada                         | 1464494,845                     | 1458631,700 | 119060,938  | 3,3                            | 3,3  | 0,3  |

*Figura 5 – Abbondanze percentuali di ogni categoria di uso del suolo negli anni 1954, 1990, 2000.*

Particolare attenzione va data alla tipologia “aree occupate da colture agrarie con spazi naturali”; la percentuale occupata da tale tipologia decresce dal 6.5 al 1% a favore di colture più redditizie.

Tale area, nello spazio temporale che va dal 1954 al 1990, è interessata, inoltre, da opere di rimboschimento: assistiamo infatti ad una trasformazione a bosco di conifere per un valore del 3.6 %. Tali azioni di rimboschimento si hanno soprattutto nella parte nord-orientale della Conca del Fucino, nelle zone montuose dei comuni di Aielli e di Celano.

In generale possiamo affermare che la maggior parte delle aree interessate da attività agricole, salvo rari casi, non hanno subito grosse variazioni se non trasformazioni in altre tipologie agricole. Il decremento di terreni agricoli nei 50 anni presi in esame è stato rimpiazzato, quasi interamente, dall'aumento delle zone adibite ad urbano.

Altre considerazioni possono essere fatte analizzando la categoria bosco.

Si assiste, nel periodo 1954-1990 ad un sostanziale stabilità della categoria; stabilità che subisce delle variazioni nell'arco temporale 1990-2000:

- i boschi di latifoglie subiscono una diminuzione;
- i boschi misti aumentano fino a coprire il 6.6 % dell'intera area in esame;
- i boschi di conifere subiscono un leggero aumento.

L'analisi delle classi vegetazione rada, spiagge, dune e greti fluviali porta a rafforzare l'evidente tendenza del territorio a trasformarsi verso classi più legate alle attività di tipo antropico. Esaminando le due matrici prodotte si assiste ad una quasi scomparsa delle categorie a favore di categorie quali zone urbanizzate e colture permanenti.

Una piccola percentuale della categoria "vegetazione rada" subisce delle trasformazioni che si possono dire "naturali" a favore di aree a pascolo o con vegetazione in evoluzione.

L'acquisizione della cartografia di uso del suolo relativa agli anni 1954, 1990 e 2000 e l'applicazione della matrice prodotta relativa agli stessi anni, ha permesso di valutare come dinamicamente è cambiato il territorio della Conca del Fucino.

I risultati dell'indagine sono visibili nella carta delle dinamiche territoriali 1954-1990 e nella carta delle dinamiche territoriali 1990-2000 (le carte sono riportate in figura 10 e 11 anche se lo spazio a disposizione le rende difficilmente leggibili).

Dal punto di vista quantitativo i fenomeni osservati nel range temporale 1954-1990 sono sintetizzabili analizzando le tabelle riportate in figura 6 e in figura 7.

L'analisi dei dati va a rafforzare i risultati già discussi in precedenza. Appare evidente che la vocazione agricola della Piana del Fucino rimane, praticamente la stessa. Se si esclude la parte ubicata ad est della piana, caratterizzata dalla presenza di vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione (il dato è evidente nelle carte di uso del suolo prodotte), tutta l'area classificata come persistente è di tipo agricolo.

| Forme di dinamismo            | Valori % |
|-------------------------------|----------|
| Dinamica naturale (Dn)        | 11,30    |
| Abbandono (Ab)                | 0,90     |
| Degrado boschivo (Db)         | 1,85     |
| Deforestazione (Df)           | 0,77     |
| Degrado (Dg)                  | 0,44     |
| Forestazione (F)              | 3,79     |
| Intensivizzazione (I)         | 8,85     |
| Intensivizzazione urbana (Iu) | 1,76     |
| Persistenza (P)               | 61,88    |
| Persistenza urbana (Pu)       | 1,31     |
| Trasformazione (T)            | 7,15     |

*Figura 6 – Ripartizione percentuale delle forme di dinamismo che hanno interessato l'area di studio negli anni 1954-1990.*

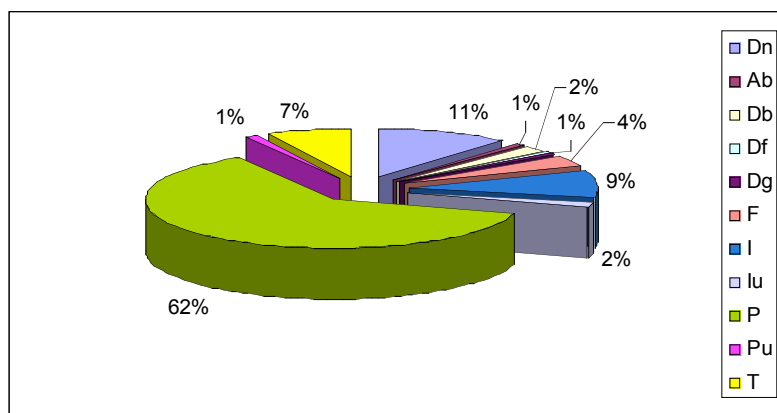


*Figura 7 – Percentuale di distribuzione delle forme di dinamismo considerate negli anni 1954-1990.*

Come era facile aspettarsi la percentuale considerata di persistenza e intensivizzazione urbana è rilevante; siamo, di fatto, a cavallo degli anni cinquanta, anni fortemente caratterizzati da industrializzazione delle aree peri-urbane, concentrazione demografica nelle città, realizzazione di grandi infrastrutture viarie. Abbastanza ovvia è anche la porzione di territorio soggetta a forestazione: gli anni oggetto dell'analisi sono stati, infatti, caratterizzati anche da ingenti opere di impianti forestali (soprattutto conifere) ad opera del Corpo Forestale dello Stato.

È importante sottolineare che l'11 % della Conca del Fucino, soprattutto nelle zone più montuose e poste a maggior altitudine, è soggetta a dinamica naturale. Resta, infine, un 3 % di territorio complessivamente soggetto a degrado e solo l'1 % dello stesso territorio caratterizzato dall'abbandono. Queste percentuali, abbastanza esigue rispetto alle altre, evidenziano che la Conca del Fucino, negli anni compresi fra il 1954 e il 1990, ha visto uno sfruttamento del territorio ad opera dell'uomo praticamente totalitario.

Analizzando la carta delle dinamiche territoriali relative agli anni 1990-2000 è stato possibile ottenere i risultati sintetizzati in figura 8 e in figura 9. Come prevedibile, dal confronto, emergono le stesse dinamiche evolutive già evidenziate per gli anni 1954 – 1990.

Si assiste, sostanzialmente, ad una urbanizzazione più spinta; il 5,11 % del territorio è, infatti, classificato come oggetto ad intensivizzazione urbana. I fenomeni di espansione più rilevante sono avvenuti esternamente ai centri urbani già esistenti e lungo le direttrici viarie. Aumentano dal 3 al 6 % le aree abbandonate o degradate principalmente nelle porzioni di territorio poste ad altitudini più elevate; questo a causa, probabilmente, del fenomeno di distacco, da parte della popolazione, dalle attività di tipo silvopastorale e quindi dell'abbandono di zone montuose.

Da un esame più approfondito si può, ulteriormente notare come, molte delle aree classificate come in degrado siano situate in prossimità di importanti centri abitati (Celano; per esempio) che fungono da "attrattiva urbana" a discapito dei territori montuosi limitrofi che, seppur non lontani, sono difficilmente raggiungibili. Il fenomeno dello spopolamento dei centri di montagna è stato, nella Conca del Fucino, molto meno appariscente e presente che non in altre aree dell'Appennino centrale è, però, importante notare che, anche se con impatto minore, esso ha interessato anche il Fucino. Anche la porzione di territorio soggetta a dinamica naturale è quasi invariata; va sottolineato che, se da un lato le aree soggette a tale dinamica decrescono a nord della piana, si assiste ad un incremento nelle zone più orientali, dove si passa da brughiere e cespuglieti a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione.

| Forme di dinamismo            | Valori % |
|-------------------------------|----------|
| Dinamica naturale (Dn)        | 9,01     |
| Abbandono (Ab)                | 1,14     |
| Degrado boschivo (Db)         | 4,62     |
| Deforestazione (Df)           | 0,12     |
| Degrado (Dg)                  | 0,07     |
| Forestazione (F)              | 3,46     |
| Intensivizzazione (I)         | 6,26     |
| Intensivizzazione urbana (Iu) | 5,11     |
| Persistenza (P)               | 59,27    |
| Persistenza urbana (Pu)       | 3,33     |
| Trasformazione (T)            | 7,62     |

*Figura 8 – Ripartizione percentuale delle forme di dinamismo negli anni 1990-2000.*

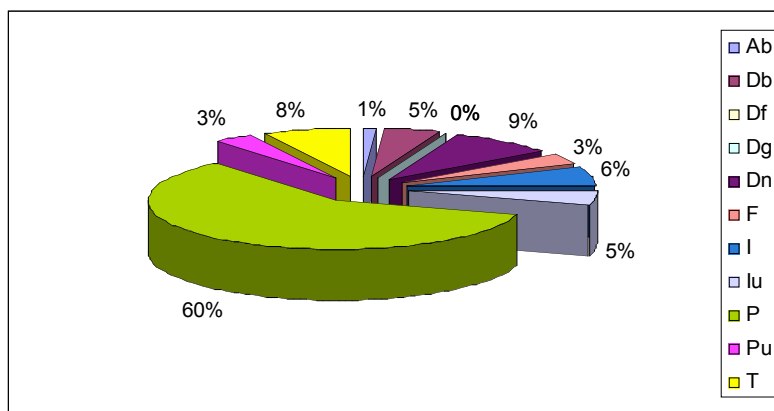


*Figura 9 – Percentuale di distribuzione delle forme di dinamismo negli anni 1990-2000.*





### Riferimenti bibliografici

- Massimi G., (1994), *Geografia dei sistemi agricoli italiani – Abruzzo*. Ed. REDA.
- Gambino R., (1997) *Conservare, innovare – Paesaggio, ambiente, territorio*. Ed. UTET Libreria.
- ARSSA (1998), *Atlante del territorio rurale abruzzese*. Ed. Regione Abruzzo
- Manzi E., *Uso del suolo, paesaggio e geografia: una grande tradizione verso il futuro*, (1999) Allegato al *Bollettino della Società Geografica Italiana* n.2,.
- Blasi C., Carranza M.L., Frondoni I R., Rosati L., (2000) Ecosystem classification and mapping: a proposal for Italian landscape, *Appl. Veg. Sci.* n.3
- Castiglioni B., (2002) *Percorsi nel paesaggio*, Giappichelli Ed., Torino.
- Blasi C., Smiraglia D., Carranza M.L., (2003) Analisi multitemporale del paesaggio e classificazione gerarchica del territorio: il caso dei Monti Lepini (Italia Centrale), *Informatore Botanico Italiano* n. 35
- Fabietti W., *Paesaggi e trasformazioni degli stili di vita*, in Filpa A., Romano B. (2003.), *Planeco - Planning in ecological network*, Gangemi Ed., Roma
- Bollino C., Pieroni L., Polinori P., (2004), *Proposte metodologiche ed analisi dei criteri per la costruzione di indicatori di sviluppo economico territoriale :primi risultati applicativi*, Atti della XXIV Conferenza italiana di scienze regionali.
- Compagnucci F., (2004) *Sviluppo senza crescita: il sistema locale del Casentino*, Atti della XXIV italiana di scienze regionali.
- Burri E., Ceralli D., (2006) *Analisi evolutiva della morfologia di alcuni centri urbani nella Piana del Fucino*, Atti della 9° Conferenza nazionale ASITA.
- Corso G., Carranza M. L., Giancola C., Svanisci A., (2006), *Trasformazione del paesaggio altomontano dell'Appennino centrale negli ultimi 50 anni* , Atti della 9° Conferenza nazionale ASITA.
- Strumia S., Vigliotti M., (2006) *Analisi evolutiva integrata del paesaggio e della dinamica del bacino del Garigliani*, Atti della 9° Conferenza nazionale ASITA.

## **Stima dei flussi di carbonio degli ecosistemi forestali italiani attraverso dati telerilevati ed ancillari**

Gherardo Chirici (\*), Marta Chiesi (\*\*), Massimiliano Pasqui (\*\*), Piermaria Corona (\*\*\*),  
Riccardo Salvati (\*\*\*), Anna Barbati (\*\*\*), Fabio Lombardi (\*), Fabio Maselli (\*\*)

(\*) EcoGeoFor, Università del Molise, Contrada Fonte Lappone snc, 86090 Pesche (IS), Italy

(\*\*) IBIMET-CNR, Via Madonna del Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino, Tel. 055 5226024

(\*\*\*) DIBAF, Università della Tuscia, Via San Camillo de Lellis, 01100 Viterbo, Italy

### **Riassunto**

Le foreste rivestono un ruolo fondamentale nell'ambito dei cicli bio-geo-chimici di molti elementi quali, tra gli altri, azoto e carbonio. In particolare possono svolgere l'importante funzione di assorbitori di carbonio, sottraendo CO<sub>2</sub> dall'atmosfera. Per questo, ed in vista dei cambiamenti climatici in atto sul nostro pianeta, un obiettivo importante è quello di quantificare l'effettivo accumulo di carbonio stoccato nelle foreste italiane. A questo ambisce il progetto FIRB C\_FORSAT finanziato dal MIUR fino al 2013.

Tra le metodologie proposte per raggiungere tale scopo (tecniche di eddy covariance, immagini da satellite e modelli bio-geo-chimici), quelle basate sull'impiego di modelli di simulazione dell'ecosistema unite all'utilizzo di dati telerilevati risultano le più promettenti. Esse infatti uniscono la possibilità offerta dai modelli di stimare tutti i processi dell'ecosistema (GPP, NPP ed NEE) basandosi sulla conoscenza delle specie analizzate e dell'ambiente in cui si trovano con quella di ottenere informazioni su vasta scala spaziale e con alto grado di ripetizione grazie all'uso di dati tele rilevati.

A questo scopo il modello bio-geochimico BIOME-BGC opportunamente calibrato e validato per le principali classi forestali italiane appare particolarmente utile. L'utilizzo del modello in forma spazializzata su base nazionale richiede però la disponibilità di una vasta disponibilità di strati informativi. Tra questi i dati meteorologici giornalieri sono particolarmente critici, in quanto non risultano ancora disponibili sul territorio nazionale. Il contributo richiama brevemente la metodologia utilizzata nel progetto e si sofferma in particolare sull'approccio individuato per la generazione della banca dati meteo spazializzata ed il suo utilizzo per simulare il comportamento della macchia mediterranea.

### **Abstract**

Forests play an important role within numerous bio-geo-chemical cycles among which those of nitrogen and carbon. In particular, forests can behave as carbon sink by removing CO<sub>2</sub> from the atmosphere. For this reason, and in view of global climate changes, it is important to quantify the amount of carbon stocked within Italian forest ecosystems. This is the objective of the FIRB project C\_FORSAT financed by MIUR up to 2013.

Among the available methodologies (eddy-covariance, remote sensing and bio-geo-chemical models), those based on the combined use of ecosystem simulation model and remotely sensed data are the most promising. They in fact enable to estimate all ecosystem processes (GPP, NPP and NEE) based on the knowledge of the species and the environment in which these live. Moreover, they offer the possibility to obtain spatial information with a high temporal frequency.

The model BIOME-BGC is particularly useful to this aim after proper calibration and validation for the main Italian forest types. It requires numerous data layers, among which daily meteorological

data are the most difficult to obtain for the whole national territory. This contribution summarizes the main methodological steps and focuses on the creation of a daily meteorological database, which is utilized to drive the simulation of Mediterranean macchia.

## **Introduzione**

Nonostante l'effetto limitante delle attività umane, gli ecosistemi forestali ricoprono ancora circa il 40% della superficie terrestre libera da ghiacci (Waring e Running, 2007). La loro importanza è legata ai numerosi servizi svolti: sociali, economici ed ecosistemici. Essi hanno un ruolo rilevante sia nel ciclo dell'acqua che in quello del carbonio e dell'azoto. La quantificazione ed il monitoraggio dei processi forestali legati al ciclo del carbonio è basata sulla stima o sulla modellizzazione di alcuni importanti variabili quali la produzione primaria lorda (*Gross Primary Production*, GPP), la produzione primaria netta (*Net Primary Production*, NPP) e lo scambio netto dell'ecosistema (*Net Ecosystem Exchange*, NEE).

Tradizionalmente, la NPP delle foreste viene stimata, su base campionaria, tramite gli inventari forestali. L'ultimo inventario forestale nazionale in Italia permette la stima dell'assorbimento di carbonio degli ecosistemi forestali ma fornisce statistiche aggregate a livello geografico (per Regioni) ed è valido staticamente solo per un determinato momento temporale. Al contrario, le tecniche di correlazione turbolenta (*eddy covariance*), da tempo applicate al monitoraggio della GPP (Aubinet et al., 2000), forniscono informazioni con una elevata frequenza temporale (in continuo) ma sono valide solo nelle immediate vicinanze delle torri di misurazione.

Nell'ambito del progetto C\_FORSAT, finanziato dal MIUR con fondi FIRB-Futuro in Ricerca, si è sviluppata una metodologia che possa fornire stime di produttività di tutti gli ecosistemi forestali a scala nazionale, con elevata frequenza temporale ed in modo spazialmente continuo. Il metodo proposto è indipendente dai dati inventariali ed è basato prevalentemente sul telerilevamento. La metodologia infatti integra dati telerilevati da fonti diverse e dati GIS con un approccio modellistico per produrre stime di flussi di carbonio lordo e netto delle foreste nazionali. Queste stime possono essere utili a supporto della pianificazione forestale, specialmente per valutare la produttività forestale di varie zone del paese nell'ambito del protocollo di Kyoto.

Questo contributo aggiorna quanto già anticipato in Maselli et al. (2010) ed introduce i dettagli della metodologia utilizzata, in particolare per quanto riguarda la metodologia utilizzata per la generazione dei dati meteo spazializzati a scala nazionale su base giornaliera e la calibrazione della metodologia per l'ecosistema a macchia mediterranea.

## **Materiali e metodi**

La metodologia di stima della produttività degli ecosistemi forestali si basa sull'accoppiamento del modello bio-geo-chimico BIOME-BGC (White et al., 2000) con le informazioni derivanti da telerilevamento satellitare e quelle cartografiche ottenibili in ambiente GIS. In particolare viene utilizzato il modello parametrico C-Fix per stimare direttamente la GPP in funzione della radiazione fotosintetica assorbita dalla vegetazione (FAPAR) utilizzando i dati NDVI del sensore Spot-VEGETATION (<http://free.vgt.vito.be/>) (Veroustraete et al., 2002; Maselli et al., 2009). Il modello BIOME-BGC invece si basa invece sull'equazione di Farquhar (1980) per il calcolo della GPP a cui vengono sottratte le respirazioni autotrofe ed eterotrofa per derivare la NPP e la NEE. Dato che il modello ipotizza una condizione degli ecosistemi forestali di quasi-equilibrio si è reso necessario l'introduzione di un meccanismo di calibrazione basato sul rapporto tra provvigione reale e provvigione teorica nelle condizioni di quasi-equilibrio.

Il primo step è stato quello di preparare un dataset di dati meteorologici giornalieri con risoluzione spaziale di 1 km per tutto il territorio nazionale. Questi dati infatti sono necessari per inizializzare entrambi i modelli. A tale scopo sono stati impiegati i dati del dataset E-OBS (Haylock et al., 2008) disponibili per tutta Europa con risoluzione spaziale 0.1°. Questo database è stato prodotto dal progetto Europeo ENSEMBLES (<http://www.ensembles-eu.org/>) tramite la spazializzazione con Kriging dei dati di 2136 stazioni meteo Europee (Haylock et al., 2008). Il downscaling di questi dati

per arrivare al passo di 1 km del progetto è stato realizzato tramite regressione localizzata basata su l'utilizzo di un modello digitale del terreno (Papale, 2006). La metodologia utilizzata è descritta in dettaglio Maselli (2002) e Blasi et al. (2007).

Le stime giornaliere di temperatura minima, temperatura massima e precipitazioni ottenute per i 10 anni di studio sono state validate rispetto ai dati meteo misurati da un insieme di stazioni distribuite su tutto il territorio regionale e a quote diverse della Banca Dati Agrometeorologica Nazionale del Sistema Informativo Agricolo Nazionale (SIAN) disponibile on-line su <http://old.politicheagricole.it/ucea/forniture/index3.htm>.

Successivamente i dati meteorologici sono stati impiegati per calibrare e validare la simulazione dei flussi bio-geo-chimici per l'ecosistema a macchia mediterranea presente sul territorio nazionale, la cui distribuzione è stata derivata dal progetto Corine Land Cover 2006 (Sambucini et al., 2010). Questa operazione è stata eseguita previa calibrazione di BIOME-BGC sulle stime di GPP ottenute da C-Fix per diversi punti selezionati sul territorio nazionale (Chiesi et al., 2007). La validazione del modello è stata poi effettuata confrontando le stime di GPP prodotte con i dati disponibili grazie alla tecnica *eddy-covariance* per il sito Arca di Noè (Sardegna). Il confronto è stato effettuato per gli anni 2004-2008.

## Risultati

La metodologia di downscaling dei dati ENSEMBLES ha consentito la stima di dati meteorologici giornalieri per il territorio nazionale ad 1 km di risoluzione con buona accuratezza. A titolo esemplificativo si riportano in Figura 1 due esempi di mappe giornaliere di temperatura massima e precipitazioni: per la temperatura è possibile rilevare i gradienti latitudinali, altitudinali e di distanza dal mare mentre per le precipitazioni si nota il carattere locale.

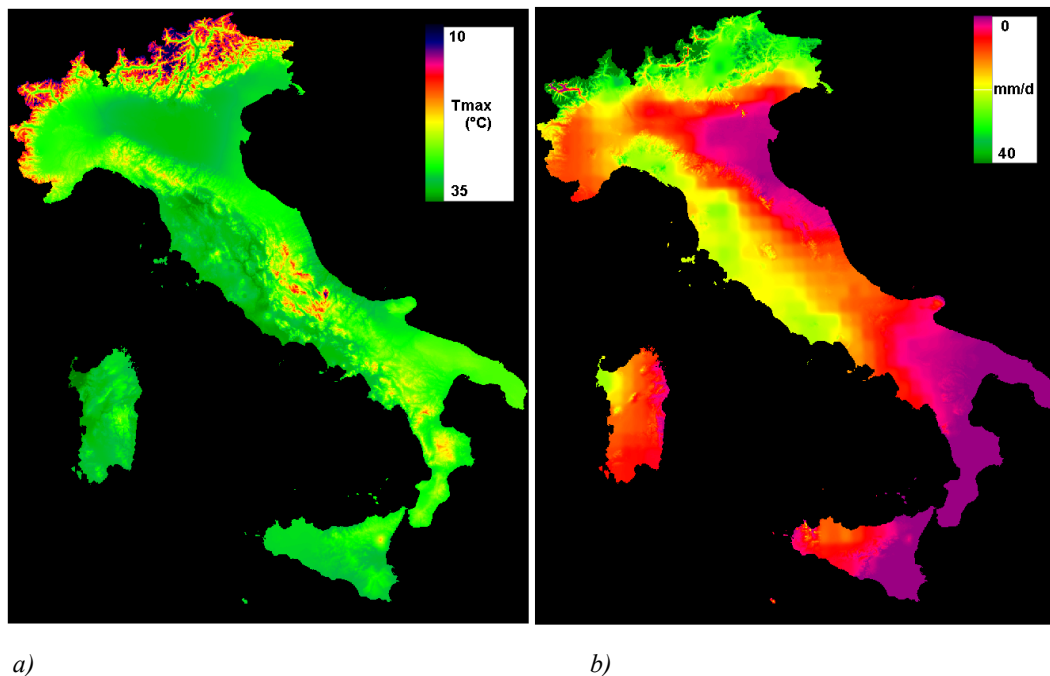


Figura 1 – Risultato della spazializzazione con passo di 1 km della temperatura massima del giorno 15 agosto 2009 (a) e della precipitazione del 30 novembre 2009 (b).

La valutazione dell'accuratezza ottenuta ha prodotto i risultati mostrati in Tabella 1. Rispetto a 10 stazioni della rete SIAN è stato ottenuta una correlazione altamente significativa tra dati stimati e dati misurati ( $r$  di 0.916 per la temperatura minima, di 0.946 per la temperatura massima e di 0.637 per le precipitazioni). In generale le temperature minime sono variabilmente sovrastimate, mentre le massime non presentano chiare alterazioni. Le piogge sono invece generalmente sottostimate.

|                   | T. minima |                                | T. massima |                                | Pioggia |        |
|-------------------|-----------|--------------------------------|------------|--------------------------------|---------|--------|
|                   | $r$       | MBE<br>(°C day <sup>-1</sup> ) | $r$        | MBE<br>(°C day <sup>-1</sup> ) | $r$     | %MBE   |
| Sibari            | 0.948     | 3.41                           | 0.962      | -0.74                          | 0.533   | -8.61  |
| Santa Fista       | 0.940     | 3.57                           | 0.977      | -0.09                          | 0.548   | -14.97 |
| Carpeneto         | 0.974     | 1.54                           | 0.980      | 0.78                           | 0.670   | 3.85   |
| Castel di Sangro  | 0.860     | 6.20                           | 0.985      | -1.44                          | 0.660   | -31.84 |
| San Piero a Grado | 0.947     | 2.23                           | 0.979      | -0.06                          | 0.700   | -5.73  |
| Moena             | 0.908     | 4.00                           | 0.931      | -1.96                          | 0.778   | -32.50 |
| Chilivani         | 0.923     | 3.79                           | 0.977      | -1.91                          | 0.583   | 4.66   |
| Turi              | 0.958     | 1.75                           | 0.965      | -0.85                          | 0.670   | -27.48 |
| Piubega           | 0.976     | 1.94                           | 0.991      | 0.38                           | 0.706   | -16.20 |
| Santo Pietro      | 0.966     | 1.26                           | 0.972      | -0.75                          | 0.581   | -7.88  |

*Tabella 1 – Statistiche di accuratezza ottenute confrontando i dati ENSEMBLES con i rispettivi raccolti da 10 stazioni di misura distribuite sul territorio nazionale.*

L'applicazione di BIOME-BGC alla stazione di Arca di Noè ha riportato i risultati mostrati in Figura 2. Questo sito è caratterizzato dalla presenza di macchia mediterranea, che presenta un netto sviluppo bimodale della GPP, con un massimo primario in primavera ed uno secondario in autunno. I flussi di carbonio misurati con la tecnica *eddy-covariance* sono riprodotti in maniera abbastanza precisa a livello annuale (1110 misurati contro 1044 g C m<sup>-2</sup> anno<sup>-1</sup> stimati). Gli andamenti giornalieri sono ovviamente riprodotti con accuratezza più bassa ( $r = 0.50$  ed RMSE = 1.59 g C m<sup>-2</sup> giorno<sup>-1</sup>). In particolare, restano alcuni picchi di produzione primaverili che vengono chiaramente sottostimati, mentre l'effetto della siccità estiva è simulato con accuratezza variabile nei diversi anni.



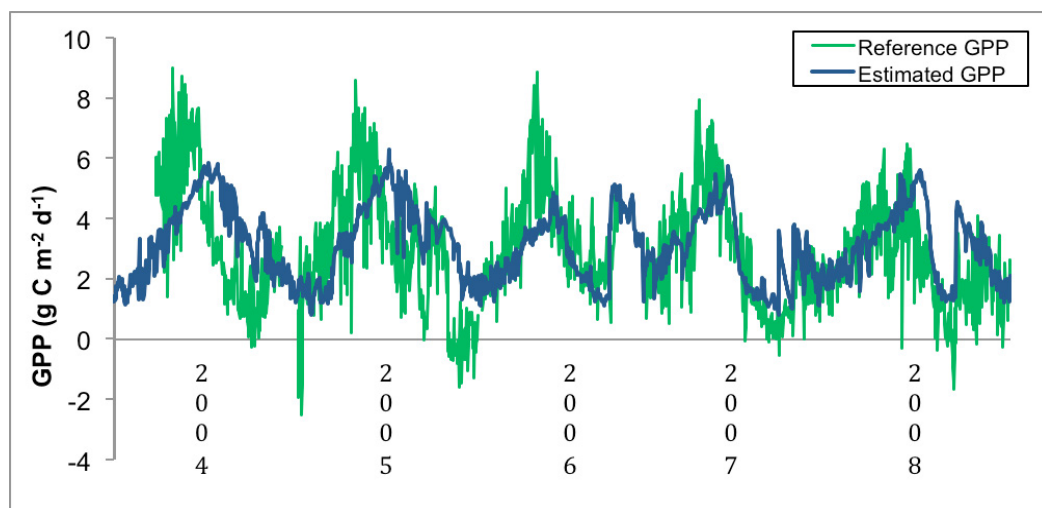


Figura 2 – Confronto tra la GPP rilevata con la tecnica di eddy-covariance per la macchia di Arca di Noè (SS) e quella ottenuta utilizzando il modello BIOME-BGC calibrato ed inizializzato con i dati meteorologici del dataset ENSEMBLES.

## Conclusioni

Uno dei principali fattori limitanti per simulare i processi bio-geo-chimici delle foreste a livello nazionale nell'ambito del progetto C\_FORSAT era costituito dalla disponibilità di dati meteo giornalieri spazializzati per un periodo sufficiente. Attraverso la procedura di downscaling della banca dati Europea ENSEMBLES questo problema appare risolto.

La disponibilità dei dati meteo spazializzati ha consentito l'impiego dei modelli C-Fix e BIOME-BGC per la simulazione dei flussi di carbonio in ecosistemi terrestri caratterizzati dalla presenza della macchia mediterranea. Questa categoria inventariale viene aggiunta a quelle già disponibili (querreti sempreverdi, querreti decidui, castagneti, faggeti, conifere del piano basale/collinare, conifere del piano montano) e consentirà l'applicazione della metodologia di stima ad una più estesa porzione del territorio nazionale. La procedura messa a punto permette inoltre di poter introdurre scenari di cambiamento climatico globale e di verificarne l'impatto sulla produttività degli ecosistemi forestali.

## Ringraziamenti

Il lavoro è stato parzialmente finanziato dal progetto MIUR FIRB-Futuro in Ricerca 2008 C\_FORSAT - Modellizzazione dell'accumulo di carbonio negli ecosistemi forestali nazionali tramite integrazione di dati convenzionali, dati telerilevati e modelli di produttività. Gli autori ringraziano il P.I. della torre di Arca di Noé, Dr. Pier Paolo Duce, per la disponibilità dei dati *eddy-covariance*.

## Bibliografia

Aubinet M., Grelle A., Ibrom A., Rannik Ü., Moncrieff J., Foken T., Kowalski A.S., Martin P.H., Berbigier P., Bernhofer Ch., Clement R., Elbers J., Granier A., Grünwald T., Morgenstern K., Pilegaard K., Rebmann C., Snijders W., Valentini R., Vesala T. (2000), "Estimates of the annual net carbon and water exchange of forests: the EUROFLUX methodology", *Advances in Ecological Research*, 30: 113-175.

- Blasi C., Chirici G., Corona P., Marchetti M., Maselli F., and Puletti N. (2007), "Spazializzazione di dati climatici a livello nazionale tramite modelli regressivi localizzati", *FOREST@*, 4(2): 213-219.
- 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.
- Farquhar G.D., von Caemmerer S., Berry J.A. (1980), "A biochemical model of photosynthetic CO<sub>2</sub> assimilation in leaves of C3 species", *Planta*, 149: 78-90.
- Haylock M.R., Hofstra N., Klein Tank A.M.G., Klok E.J., Jones P.D., New M. (2008), "A European daily high-resolution gridded dataset of surface temperature and precipitation", *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)*, 113, D20119, doi:10.1029/2008JD10201.
- Maselli F. (2002), "Improved estimation of environmental parameters through locally calibrated multivariate regression analysis", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 68(11): 1163-1171.
- Maselli F., Papale D., Puletti N., Chirici G., Corona P. (2009), "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., Barbati A., Chiesi M., Corona P., Papale D., Pasqui M., and Chirici G. (2010), "Integrazione di dati telerilevati e raccolti a terra per la stima della produttività lorda e netta delle foreste italiane", in 14ª Conferenza Nazionale ASITA.
- Maselli F., Pasqui M., Chirici G., Chiesi M., Fibbi L., Salvati R., Corona P. (2011), "Evaluation of a 1-km daily meteorological dataset for modelling vegetation production in Italy", *Agricultural and Forest Meteorology*, sottoposto.
- Papale, D. (2006), "Il Progetto CARBOITALY: una rete nazionale per la misura dei sink forestali e agricoli italiani e lo sviluppo di un sistema di previsione dell'assorbimento dei gas serra", *iForest - Biogeosciences and Forestry*, 3(1):165-167.
- Sambucini V., Marinosci I., Bonora N., Chirici G., Corona P., Bologna S., Morgante L., Oradini O., Bagnoli M., Papini F., and Marchetti M. (2010), "La realizzazione in Italia del progetto Corine Land Cover 2006: uno strumento di monitoraggio delle dinamiche di uso e copertura del suolo." in 14ª Conferenza Nazionale ASITA.
- Veroustraete F., Sabbe H., 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.
- Waring H.R. and Running S.W. (2007), *Forest Ecosystems. Analysis at Multiple Scales*. 2nd edition. Academic Press, San Diego, p. 55.
- White M.A., Thornton P.E., Running S.W., Nemani R.R. (2000), "Parameterisation and sensitivity analysis of the BIOME-BGC terrestrial ecosystem model: net primary production controls", *Earth Interactions*, 4: 1-85.

## **Alcune considerazioni sul ricampionamento di modelli digitali a maglia regolare per il cambio di sistema di riferimento**

Virgilio Cima (\*), Dalia Del Nista (\*\*), Marco Guiducci (\*\*\*)

(\*) Libero professionista, [virgiliocima@tin.it](mailto:virgiliocima@tin.it)

(\*\*) Regione Toscana, Ufficio tecnico del Genio Civile di Area vasta Livorno-Lucca-Pisa, [dalia.delnista@regione.toscana.it](mailto:dalia.delnista@regione.toscana.it)

(\*\*\*) Regione Toscana, Sistema informativo territoriale ed ambientale, [marco.guiducci@regione.toscana.it](mailto:marco.guiducci@regione.toscana.it)

### **Riassunto**

L'applicazione di una trasformazione di coordinate ad un modello digitale a maglia regolare può comportare la necessità di un ricampionamento dei dati. Alcuni aspetti del ricampionamento vengono analizzati sulla base di un'esperienza reale di applicazione della trasformazione di coordinate ai dati del rilievo LiDAR (*Light Detection and Ranging*) messo a disposizione dal Ministero dell'Ambiente. I dati *raster* del modello digitale del terreno sono disponibili in formato ASCII-Grid, in coordinate geografiche. Per l'utilizzo dei dati in alcuni ambienti software e per la comparazione con altri dati esistenti è utile convertire i file in coordinate piane, pur all'interno dello stesso sistema geodetico. L'esigenza del ricampionamento deriva dal fatto che i nodi della griglia geografica, inizialmente regolare, in seguito alla trasformazione in coordinate piane vengono a trovarsi approssimativamente allineati lungo una griglia ruotata rispetto agli assi del sistema, con le distanze fra i nodi in direzione est-ovest sensibilmente diverse da quelle in direzione nord-sud. Viene analizzato il comportamento del modello al variare delle condizioni imposte nella procedura di ricampionamento, verificando la restituzione di alcuni particolari morfologici del territorio in relazione ai parametri caratteristici del rilievo iniziale (densità dei dati, accuratezza planimetrica ed altimetrica).

### **Abstract**

The conversion from geographical to projected coordinates of a grid model may require a data resampling. Some aspects of digital models resampling are analysed on the basis of a real experience, in which coordinates transformation is applied to LiDAR (*Light Detection and Ranging*) data which are available from Italian Ministero dell'Ambiente (Ministry of the Environment). The digital terrain model data are stored as geographic coordinates in ASCII-Grid format. Data managing in specific software applications and interoperability with previous data, require a data projection into a cartographic coordinate system, even within the same geodetic datum. Resampling is necessary because the projected grid nodes aren't aligned on a regular grid: distances between rows and columns are different and the entire grid is rotated as regards the coordinate system axes. Model behaviour is analysed at the changing of procedure settings in resampling, and model issues are tested in correspondence to morphologic terrain details.

### **Introduzione**

Il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare ha recentemente messo a disposizione i dati dei rilievi LiDAR relativi a porzioni del territorio nazionale, prodotti nell'ambito del Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale (PST-A). I dati sono fruibili sia nel loro formato grezzo, (nuvola di punti) sia quali modelli digitali del terreno e delle superfici, (DTM e DSM). Questi ultimi sono resi in formato *raster* ASCII Grid, che assume, salvo che per le aree costiere e le isole, le dimensioni  $0,01^\circ \times 0,01^\circ$  gradi decimali con celle di passo  $0,00001^\circ$  in modo che ogni "mattonella" ne contenga  $1000 \times 1000$ .

La qualità metrica dichiarata del rilievo è di 15 cm in altimetria 30 cm in planimetria. Alla latitudine media per la Toscana, un riquadro geografico di  $0.01^\circ \times 0.01^\circ$  corrisponde sul terreno ad un'area di circa 800 m x 1100 m, mentre la cella di  $0,00001^\circ$  corrisponde a circa 0.8 m x 1.1 m.

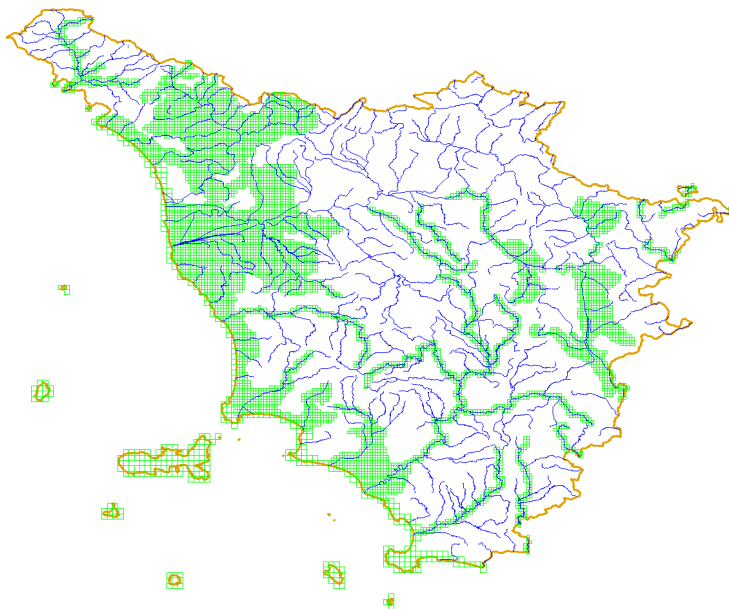
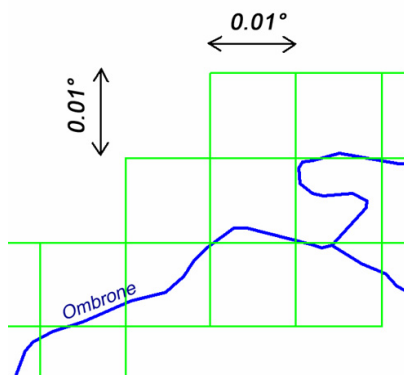


Figura 1 – Zone rilevate sul territorio toscano nell'ambito del PST-A.



Fornitura di dati LiDAR:

Modelli digitali a maglia quadrata  
in coordinate geografiche  
organizzati in *tile* di  $0,01^\circ \times 0,01^\circ$   
(circa 800 m x 1100 m)  
ogni *tile* contiene 1000 x 1000 celle  
con passo:  $0.00001^\circ$  (circa 0.8 m x 1.1 m)  
qualità metrica:  
15 cm in altimetria  
30 cm in planimetria

Figura 2 – Particolare del quadro d'unione e riepilogo delle caratteristiche della fornitura.

Per l'utilizzo dei dati in alcuni ambienti *software* e per la loro comparazione ed analisi con la maggior parte della banca dati topografica della Regione Toscana, in particolare la Carta Tecnica Numerica ed i suoi derivati, come il modello digitale del terreno, il reticolo idrografico ed i modelli idraulici ad esso associati, è utile convertire i *file* in coordinate piane UTM.

La procedura di proiezione in coordinate piane dei *file* ASCII Grid espressi in coordinate geografiche comporta alcune scelte operative, che scaturiscono da noti problemi tecnici e che vengono illustrate nel seguito. I dati sono memorizzati nel formato ASCII-Grid, che realizza la georeferenziazione delle informazioni del modello mediante le seguenti impostazioni, riportate nelle prime 6 righe del file (*header*):

```

NCOLS 1640
NROWS 1240
XLLCENTER 675950.500
YLLCENTER 4846765.500
CELLSIZE 1
NODATA_VALUE -9999.000

```

Nel resto del file seguono i dati che costituiscono il modello di elevazione, espressi mediante una sequenza di valori numerici, ognuno dei quali corrispondente ad una cella della maglia.

### Proiezione

In figura 3a è mostrata una porzione del Grid a maglia quadrata geografica. Sono indicati anche i centri delle celle, ai quali verrà applicata la proiezione UTM. In figura 3b sono mostrati i centri cella proiettati (di colore verde) e, di colore fucsia, la nuova maglia quadrata, metrica, quale dato da calcolare ed utile agli scopi descritti in premessa.

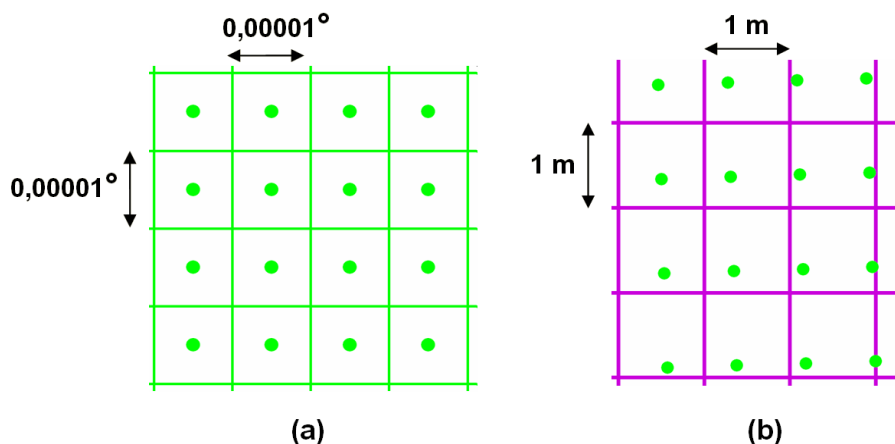


Figura 3 – (a) porzione di Grid a maglia quadrata geografica;  
(b) i centri cella proiettati e la nuova maglia regolare metrica.

La figura 3b rende evidente che occorre stabilire il valore più opportuno della dimensione della cella metrica nonché la strategia più idonea per attribuire il valore di quota alla cella stessa.

In merito alla dimensione della cella occorre tener conto sia della natura del fenomeno rilevato, il terreno, sia delle caratteristiche della sua modellazione, alla luce delle teorie del campionamento (Nyquist-Shannon, 1949), considerando il campionamento del dato originale come modello (analogico) di cui preservare l'informazione.

Si evidenzia che la scelta di un passo della cella più fine di quello di partenza, come suggerito dalle teorie sopra citate, comporta un aumento considerevole delle dimensioni dei *file* (un passo di campionamento doppio comporta file quattro volte più grandi), mentre un passo più grande provoca un degrado dell'informazione.

Inoltre, l'impiego del formato ASCII-Grid impone la tipologia della griglia a maglia quadrata. In tale formato ogni valore di elevazione è espresso in modo puntuale, ma la sua validità ai fini della modellazione va interpretata in relazione alla porzione areale di territorio che compete alla cella.

La proiezione sul piano cartografico agisce sui singoli punti; nel sistema di riferimento piano, essi si trovano posizionati secondo una distribuzione non più allineata ad una maglia quadrata. L'interdistanza fra i punti non è costante e gli allineamenti lungo righe e colonne, che nei dati di partenza corrispondevano a meridiani e paralleli, vengono a trovarsi sulle corrispondenti trasformate. Alla latitudine media per la Toscana i punti sono distanti circa 1.1 m in direzione nord e 0.80 m in direzione est. Considerata l'estensione geografica di ogni *tile* e il valore del passo della maglia di partenza, la variabilità dell'interdistanza fra i singoli punti e la non linearità degli allineamenti di righe e colonne risultano di fatto trascurabili. Non risultano invece trascurabili la differenza fra l'interdistanza in direzione est-ovest e quella in direzione nord-sud, nonché l'orientamento dell'intera maglia di punti, che nel sistema di riferimento cartografico è ruotata rispetto agli assi di un valore che in Toscana supera i 2° (convergenza del meridiano). Nella scelta del passo di campionamento occorre tenere in considerazione tutte le circostanze sopra descritte, unitamente al fatto che il rilievo LiDAR del progetto PST-A è impostato per ottenere una densità di punti per metro quadrato di 1.6, funzionale ad una maglia regolare di 1x1 m, con una qualità planimetrica di 0.30 m.

### Ricampionamento

Oltre al passo della maglia occorre stabilire la strategia più idonea per il calcolo del valore di quota da attribuire alla singola cella. Il sistema implementato prevede due possibilità: *nearest* e bilineare.

Nel contesto applicativo sono state esaminate le peculiarità di entrambi i metodi. In figura 4 sono schematizzati due ipotetici andamenti della superficie: quello di sinistra con discontinuità accentuate, come quelle che si hanno in presenza di fabbricati (DSM) oppure di opere di sostegno del terreno o di contenimento delle acque (DTM); il profilo di destra rappresenta invece un terreno naturale con pendenze meno accentuate.

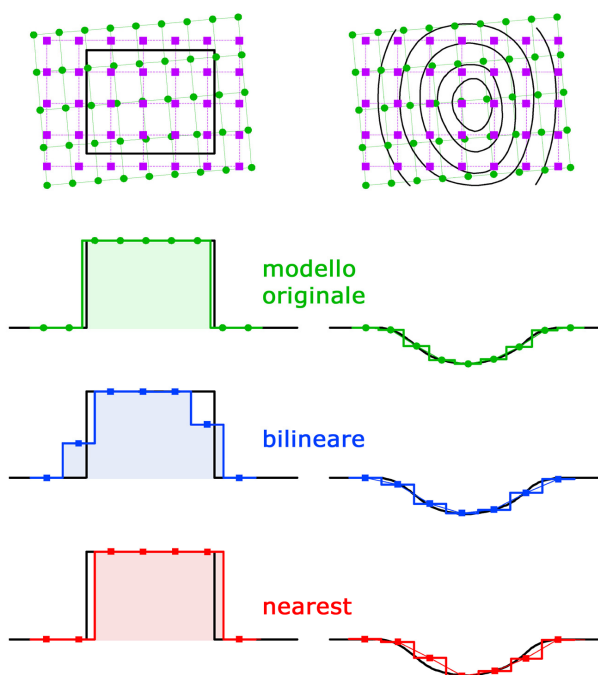
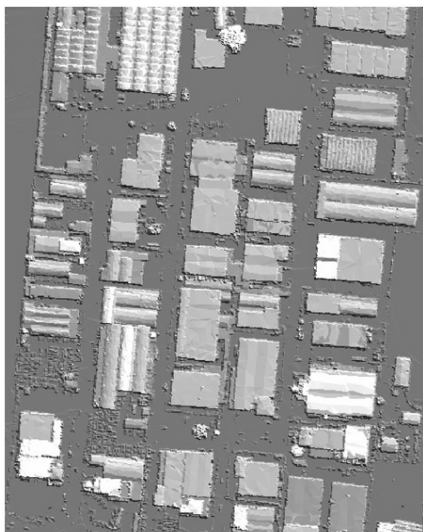


Figura 4 – Profili ottenuti con interpolazione bilineare e nearest.



Evidente è il diverso comportamento del calcolo: esaminando il profilo ottenuto con modalità *nearest* (rosso) si nota come venga preservata meglio la “forma” nel caso di sinistra, con il solo effetto di traslazione del dato, dovuto al non allineamento delle due griglie. Tale traslazione può essere al massimo pari alla metà della griglia di destinazione, che nel contesto applicativo risulta paragonabile alla qualità planimetrica del dato di partenza. Nel caso del terreno naturale invece il criterio *nearest* risulta meno adeguato. L’interpolazione bilineare (blu) si comporta in modo sostanzialmente opposto: modella in modo migliore il caso del terreno a destra e risulta invece meno adeguata al caso delle brusche variazioni altimetriche a sinistra, per le quali inserisce valori di quota inesistenti nel dato di partenza. Tali constatazioni fanno considerare l’interpolazione bilineare migliore per il DTM in terreni a bassa frequenza di variazione di pendenza e la modalità *nearest* senz’altro più adeguata per i DSM. Per approfondimento e ad ulteriore conferma è stato eseguito un calcolo dei volumi di edificato di una porzione di territorio di circa 400 per 500 metri:



Volumi rispetto alla quota zero:

**DSM bilineare:** 3330879 m<sup>3</sup>

**DSM nearest:** 3331545 m<sup>3</sup>

**DTM bilineare:** 2792392 m<sup>3</sup>

**DTM nearest:** 2792399 m<sup>3</sup>

Differenze DSM-DTM:

**DSM<sub>bil</sub> - DTM<sub>bil</sub>:** 538487 m<sup>3</sup>

**DSM<sub>nea</sub> - DTM<sub>bil</sub>:** 539153 m<sup>3</sup>

Figura 5 – Differenza di computo dei volumi tra bilineare e nearest.

Si noti come il caso in esame rispecchi quanto esposto precedentemente: i volumi calcolati sul DTM sono pressoché identici, mentre quelli calcolati sul DSM presentano una differenza maggiore tra bilineare e *nearest*. Questo fatto si riflette su un eventuale computo dei volumi edificati, ottenuti per differenza tra DSM e DTM. Gli scostamenti percentuali dell’ordine dello 0,02% ci inducono però a ritenere trascurabile la differenza fra i due metodi di interpolazione, almeno relativamente alle caratteristiche dei dati da elaborare.

Se si adotta però la soluzione di utilizzare due metodologie diverse per il calcolo del DSM e del DTM (ad esempio *nearest* nel primo caso e bilineare nel secondo) occorre tener presente che i due modelli presenteranno valori leggermente diversi anche in corrispondenza del terreno naturale, dovuti al diverso comportamento delle interpolazioni. In tali situazioni eventuali applicazioni di *map algebra* per la restituzione dei volumi in elevazione mediante sottrazione di superfici dovranno filtrare tali residui, considerandoli rumore.

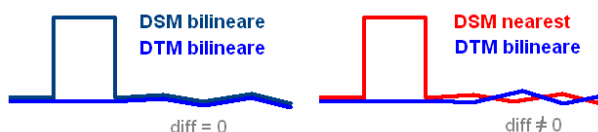


Figura 6 – Differenze fra le interpolazioni bilineare e nearest sul terreno naturale.

### Mosaicatura dei *tile*

I dati originali in coordinate geografiche coprono l'area rilevata con continuità: i vari *tile* sono fra loro adiacenti e la distanza fra l'ultima riga o colonna di un *tile* e la prima del *tile* adiacente è esattamente di un passo, in modo che le corrispondenti celle risultino in contatto.

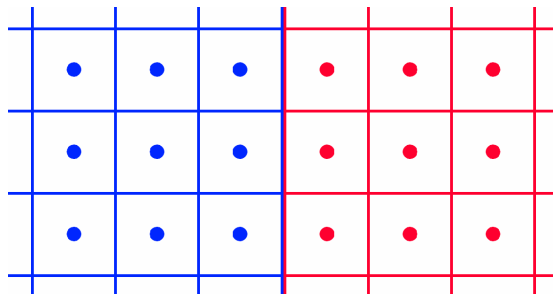


Figura 7 – Tile adiacenti.

La stessa situazione dovrà essere ricreata per i modelli convertiti in coordinate cartografiche, in seguito al ricampionamento. Se ogni *tile* venisse convertito in modo indipendente dagli altri, risulterebbero dei valori di *no data* nella parte più esterna, a causa della rotazione fra i sistemi di riferimento. Inoltre, l'interpolazione bilineare non funzionerebbe correttamente nella porzione di territorio, di larghezza pari alla metà del passo, che ricade fra l'ultima riga o colonna di valori puntuali e l'effettivo bordo esterno del *tile*. Il metodo implementato dalla Regione Toscana per il ricampionamento e l'ottenimento dei grid finali assolve anche al compito di generare *tile* completamente riempiti, in modo da ottenere con un'unica elaborazione un nuovo set di ASCII Grid, proiettati, ricampionanti e tagliati sul quadro d'unione adottato dalla Regione Toscana, corrispondente a quello della Carta tecnica numerica in scala 1:2000.

### Conclusioni

Il sistema implementato risponde all'esigenza pratica di utilizzo dei dati nei sistemi attualmente in possesso della Regione Toscana e degli uffici tecnici relativi ed è sufficientemente elastico nell'adeguarsi a diverse realtà territoriali, potendo impostare i vari parametri come il passo della cella, il metodo di interpolazione, il numero di righe e colonne dei grid finali. Alla luce delle considerazioni espresse in queste pagine, tese a verificare che le procedure realizzate fossero in linea con i dati in oggetto e non introducessero anomalie dovute a sistematismi di calcolo, le impostazioni scelte dalla Regione Toscana per la conversione dei dati LiDAR mediante ricampionamento sono le seguenti:

- passo della cella 1 m (per le aree a griglia 0,00001°)
- interpolazione bilineare
- taglio piano corrispondente al quello della Carta Tecnica Regionale in scala 1:2.000

### Bibliografia

- Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare - Direzione Generale per la Difesa del Suolo (2007), "Disciplinare Tecnico del Piano straordinario di telerilevamento ambientale ad alta precisione per le aree ad elevato rischio idrogeologico", *Gazzetta Ufficiale Europea del 9 Agosto 2007* n S152
- National Digital Elevation Program (2004), *Guidelines for Digital Elevation DataVersion 1.0*, disponibile on-line all'indirizzo: [http://www.ndep.gov/NDEP\\_Elevation\\_Guidelines\\_Ver1\\_10May2004.pdf](http://www.ndep.gov/NDEP_Elevation_Guidelines_Ver1_10May2004.pdf) (ultima consultazione agosto 2011)
- FEMA (2003), *Guidelines and Specifications for Flood Hazard Mapping Partners, Appendix A: Guidance for Aerial Mapping and Surveying*, disponibile online all'indirizzo: <http://www.fema.gov/library/viewRecord.do?id=2206> (ultima consultazione agosto 2011)
- Franchi N. (1979), *Elementi di cartografia*, Istituto Geografico Militare, Firenze
- Shannon C. E. (1949), "Communication in the presence of noise", *Proc. Institute of Radio Engineers*, vol. 37, no.1, pp. 10–21

## **Analisi dei cambiamenti dell'uso del suolo attraverso l'utilizzo di immagini iperspettrali**

Fabio Cipolletti (\*), Maria Rosaria Della Rocca (\*\*), Alessandro Mei (\*),  
Rosamaria Salvatori (\*), Alessia Allegrini (\*)

(\*) CNR-IIA, Via Salaria Km 29,300 C.P. 10 00015 Monterotondo, Roma  
Tel. 06 90672636, cipolletti@iia.cnr.it, mei@iia.cnr.it, salvatori@iia.cnr.it, alessia.allegrini@iia.cnr.it  
(\*\*) ARPAC, Via Vicinale Santa Maria del Pianto, Centro Polifunzionale, Torre 1 80143 Napoli  
Tel. 081 2326364, mr.dellarocca@arpacampania.it

### **Riassunto**

Le trasformazioni del territorio, alle quali sono soggette la costa e l'entroterra *domitio* (Campania), da sempre sono materia di studio da parte dell'ARPAC (*Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Campania*). Il presente lavoro si basa sull'utilizzo di immagini acquisite dal sensore iperspettrale MIVIS (Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer) relative a due diversi voli, il primo del luglio 2004 ed il secondo dell'ottobre 2009, ed elaborate dal CNR-Istituto sull'Inquinamento Atmosferico in sinergia con l'ARPAC. Sfruttando le proprietà iperspettrali delle immagini MIVIS, attraverso le tecniche di Change Detection, sono state analizzate le variazioni di uso del suolo, intercorse fra le due acquisizioni aeree. Il computo dell'NDVI sulle bande 13 e 20 dell'immagine MIVIS ha permesso di classificare in modo esaustivo le trasformazioni avvenute sul territorio di studio, siano esse legate alla vegetazione, ai suoli o ad altre matrici di natura antropica. I risultati saranno di utile supporto nella pianificazione delle attività di monitoraggio e controllo a cui l'ARPAC è preposta.

### **Abstract**

The transformations of the land, which are subject the Domitian coast and inland (Campania), have always been a subject of study by ARPAC (Regional Agency for Environmental Protection of Campania). In this work two different images, acquired by the hyperspectral sensor MIVIS (Multispectral Infrared and Visible Imaging Spectrometer) in July 2004 and in October 2009, were processed by the CNR-Institute of Atmospheric Pollution in synergy with ARPAC. Exploiting the properties of hyperspectral images MIVIS, through the techniques of change detection, was possible to analyze the land use variations occurred between the two flights. The NDVI computing on MIVIS band 13 and 20 allows to classify exhaustively the transformations that occurred in the area of study, either related to vegetation, soils or other matrices of anthropogenic nature. The results will be useful in planning support for monitoring and control to which the ARPAC is responsible.

### **Introduzione**

Il controllo sui cambiamenti di uso del suolo richiede la conoscenza adeguata a scala spaziale e temporale delle caratteristiche dinamiche della superficie terrestre e dell'atmosfera. Da ciò nasce la necessità di utilizzare il telerilevamento come tecnica di supporto a quelle tradizionali. Tramite il telerilevamento, multi ed iperspettrale, integrato con le tecniche di indagine di campo, è possibile non solo rilevare ed elaborare i dati ambientali e territoriali, ma anche gestirli all'interno di un Sistema Informativo Geografico (GIS) o di un qualsiasi sistema di supporto alle decisioni. L'utilizzo del telerilevamento per le attività di monitoraggio rappresenta quindi un valido supporto ai fini di una corretta gestione del territorio e di conseguenza, un'accurata analisi delle diverse

matrici ambientali, condotta attraverso analisi da remoto, può essere decisiva nel pianificare le attività di monitoraggio e controllo a cui è preposta un'Agenzia per la Protezione dell'Ambiente.

### **Il telerilevamento iperspettrale**

Nello studio che segue, per effettuare l'azione di monitoraggio è stato scelto il sensore iperspettrale MIVIS (*Multispectral Infrared Visible Imaging Spectrometer*), un sistema a scansione che opera ad un'elevata risoluzione spaziale e spettrale facilmente adattabile a bordo di aerei e piattaforme volanti. Esso è costituito da quattro spettrometri in grado di misurare la radianza della radiazione elettromagnetica (emessa o riflessa dalla superficie terrestre) per un totale di 102 canali, nel campo del visibile, del vicino infrarosso, del medio infrarosso e dell'infrarosso termico. In questo studio sono state utilizzate le bande del Visibile e dell'Infrarosso Vicino (NIR), particolarmente adatte alla valutazione della presenza e dello stato della vegetazione e di conseguenza di notevole aiuto per rilevare cambiamenti di uso del suolo.

Il lavoro di seguito riportato descrive la metodologia utilizzata per analizzare le immagini MIVIS relative a due differenti voli, il primo del luglio 2004 ed il secondo dell'ottobre del 2009.

### **Area di studio**

La provincia di Caserta è da sempre caratterizzata da diffusi fenomeni di inquinamento ambientale e da trasformazioni repentine del territorio, ed è quindi oggetto di particolare attenzione da parte dell'ARPAC. L'area oggetto dell'analisi è stata quindi quella della costa e dell'entroterra *domitio*(Fig.1).

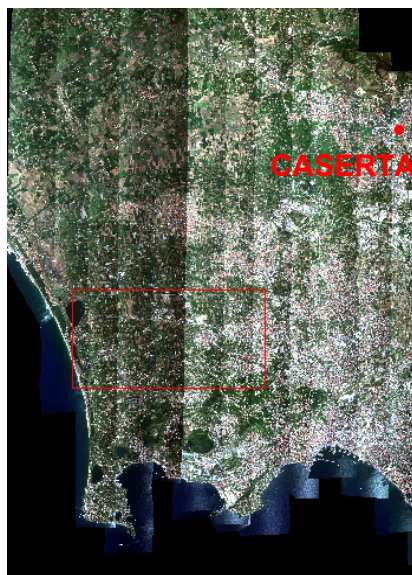


*Figura 1 – Area di studio, Mosaico Immagini MIVIS 2004(Bande 3,7,13).*

### **Analisi**

Le immagini MIVIS utilizzate in questo lavoro, hanno una risoluzione a terra di 3 m/pixels per quanto riguarda le riprese dell'ottobre del 2009, mentre hanno una risoluzione di 5 m/pixels per quanto riguarda le riprese del luglio del 2004.

Per sopperire a questa differenza di risoluzione le immagini relative al volo del 2009 hanno subito un ricampionamento che le ha portate ad una risoluzione di 5m/pixels; questo ricampionamento,

effettuato attraverso il software ENVI, ha consentito una corretta comparazione fra le due immagini senza la perdita dell'informazione spettrale contenuta nelle stesse.

Come algoritmo per effettuare un lavoro di change detection sulla vasta area in esame s'è scelto di utilizzare l'NDVI, uno dei più comuni indici di vegetazione impiegati per investigare l'evoluzione a medio lungo termine dell'uso del suolo.

L'indice di vegetazione NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) rappresenta uno degli indici più utilizzati per l'analisi sulla presenza e sullo stato di salute della vegetazione. Esso si basa sulla differenza normalizzata dei valori di riflettività ( $\rho$ ) nelle bande dell'Infrarosso Vicino e del Rosso, ed è definito come il rapporto tra la differenza e la somma di due bande, rispettivamente il Vicino Infrarosso (NIR) e il Rosso (R):

$$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_R) / (\rho_{NIR} + \rho_R)$$

Questo rapporto normalizzato fornisce valori numerici adimensionali compresi tra -1 e +1. Questi valori sono in stretta relazione con la presenza, lo stato di salute della vegetazione, con la biomassa vegetale, con l'indice di area fogliare (*Leaf Area Index*) e con i processi biochimici vegetali. I valori negativi dell'indice corrispondono all'acqua, valori prossimi allo zero corrispondono ai suoli e valori da 0.3 a 0.6 indicano la presenza di superfici vegetate con massimi intorno a 0.8 nel caso di vegetazione molto densa.

Nel caso specifico delle immagini MIVIS, le bande utilizzate nell'algoritmo NDVI sono state la banda numero 13 ( $\lambda=0,67-0,69\mu m$ ) per quanto riguarda il Rosso e la banda numero 20 ( $\lambda=0,81-0,83\mu m$ ) per quanto concerne il Vicino Infrarosso.

L'obiettivo è stato quindi quello di cercare anomalie attraverso le difformità riscontrate fra i valori di NDVI relativi all'immagine del 2004 rispetto a quelli presenti sul dato del 2009; l'analisi è stata naturalmente di tipo qualitativo in quanto la differenza stagionale fra le due acquisizioni non permette un confronto diretto basato su un indice di vegetazione, che è fortemente influenzato dal periodo di acquisizione del dato.

### **Caso studio**

La procedura utilizzata può essere sintetizzata in quattro fasi:

- 1) Visualizzazione delle immagini in colori reali (True Color Composite);
- 2) Applicazione dell'algoritmo NDVI alle due immagini (quella relativa al 2004 e quella relativa al 2009);
- 3) Individuazione delle anomale differenze nei valori di NDVI fra le due immagini; tramite il calcolo dell'immagine-differenza fra l'NDVI delle due acquisizioni e' possibile evidenziare i cambiamenti intercorsi fra il 2004 ed il 2009;
- 4) Interpretazione dei dati ottenuti, origine e natura dell'anomalia rilevata.

La prima fase è stata caratterizzata dalla fotointerpretazione con la visualizzazione dell'immagine nei colori reali, grazie alle bande del visibile (Fig.2), nello specifico le bande 3 ( $\lambda=0,47-0,49\mu m$ ), 7 ( $\lambda=0,55-0,57\mu m$ ) e 13( $\lambda=0,67-0,69\mu m$ ).

Successivamente, per estrarre le informazioni, è stato applicato l'algoritmo NDVI alle due immagini ed è stata utilizzata la tecnica della "*density slicing*" ad entrambi i casi (Fig.3 e Fig.4). Questa tecnica ha permesso di enfatizzare le informazioni contenute nell'immagine, grazie alla differente scala di colori assegnata agli oggetti presenti nella scena (nello specifico una scala che va dal bianco per valori negativi al verde acceso per valori prossimi ad 1).





*Figura 2 – Immagine MIVIS 2004.*



*Figura 3 – NDVI immagine MIVIS 2004.*

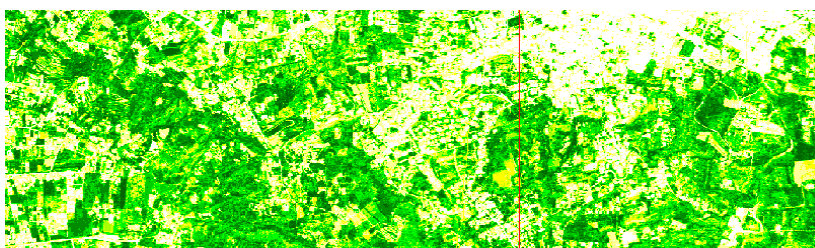


*Figura 4 – NDVI immagine MIVIS 2004.*

Una volta applicato l'algoritmo alle due immagini si è passati alle fasi tre e quattro, nelle quali ci si è posti come obiettivo quello di individuare le singolari anomalie fra le due immagini e di ipotizzarne la natura; come si osserva dall'analisi multitemporale effettuata sulle immagini del 2004, del 2009 e sull'applicativo *Google Earth* (figure 5,6,7,8 e 9) nella zona evidenziata è avvenuto un cambiamento d'uso del suolo nel corso degli anni, che è stato possibile rilevare grazie alla marcata differenza nei valori di NDVI che troviamo nelle due immagini; l'operazione di sottrazione fra l'NDVI del 2009 e quello del 2004 ha prodotto una carta (Fig7), che attraverso una *density slice*, ha permesso di evidenziare le zone dove è presente un cambiamento: si è evidenziato in marrone le zone dove l'NDVI è sceso di almeno 0,2 , in bianco la zona dove è rimasto pressoché invariato (fra -0,2 e 0,2) ed infine in verde la zona dove i valori son aumentati di almeno 0,2.

La natura dei cambiamenti può essere individuata più facilmente attraverso una successiva fotointerpretazione; è comunque auspicabile, qualora vi siano gli estremi, un controllo sul campo da parte dell'Agenzia con il duplice obiettivo di effettuare un'azione di controllo ed allo stesso tempo di testare l'efficacia dell'analisi da remoto effettuata in laboratorio.



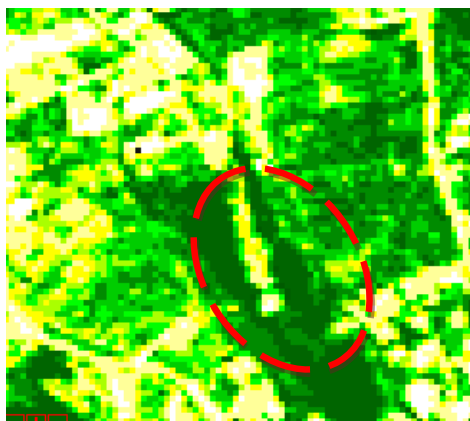


*Figura 5 – Dettaglio NDVI 2004.*

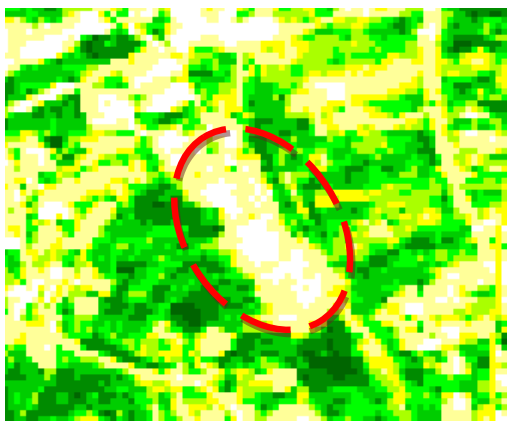


*Figura 6 – Dettaglio NDVI 2009.*

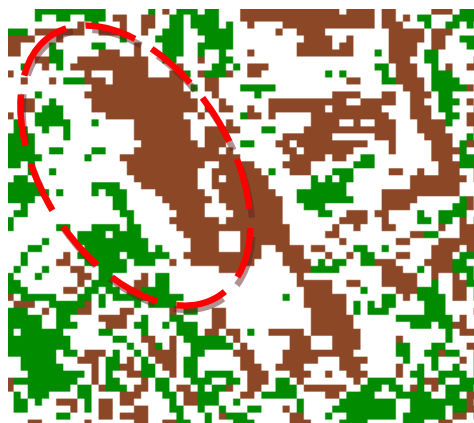


*Figura 7 – Dettaglio immagine-differenza NDVI (NDVI 2009-NDVI 2004).*



*Figura 8 – Dettaglio Visibile MIVIS 2004.*



*Figura 9 – Dettaglio Google Earth 2009.*

## Conclusioni

I risultati ottenuti in questo studio attestano quanto sia innovativo ed efficace l'utilizzo dei dati iperspettrali per la ricerca dei cambiamenti di uso del suolo; se tale indagine verrà effettuata con sistematicità su tutta la regione, l'ARPAC avrà quindi la possibilità di realizzare un monitoraggio da remoto che le permetterà un più funzionale dispendio di risorse ed un più efficace controllo del territorio.

## Bibliografia

- A.a. (2009), "Relazione sullo Stato dell'Ambiente in Campania", ARPAC-Pubblicazioni;
- D'Ambra G., Ruberti D., Verde R., Vigliotti M., Roviello V. (2009), "*La Gestione integrata della fascia costiera: studio e correlazione di variabili a carattere biologico, ecologico, chimico e sedimentologico del Litorale Domitio, in Provincia di Caserta*", Atti della 13<sup>o</sup> Conferenza Nazionale ASITA, Bari 1-4/12/09;
- Della Rocca M.R., Onorati G., Oliviero C., Cipolletti F. (2009), "*Il telerilevamento di aree ad elevato rischio ambientale*", Atti della 13<sup>o</sup> Conferenza Nazionale ASITA, Bari 1-4/12/09;
- Galati G., Gilardini A. (2001), "*Tecniche e strumenti per il telerilevamento ambientale*", Editore CNR-Servizio Pubblicazioni;
- Gomarasca M.A. (2006), "Elementi di Geomatica", *Associazione Italiana di Telerilevamento*;
- Ricotta C., Avena G.C., Ferri F. (1996), "Analysis of human impact on a forested landscape of central Italy with a simplified NDVI texture descriptor". *Int. J. Remote Sensing*;
- Roettger S. (2007), "NDVI – Based Vegetation rendering", *Conference on Computer Graphics – www.stereofx.org*;
- Vito M. (2008) "*Siti Contaminati in Campania*", ARPAC- Pubblicazioni.

## **Il GeoMapView: strumento di visualizzazione dati nel Portale SGI**

Carlo Cipolloni, Maria Pia Congi, Daniela Delogu, Paolo Moretti, Renato Ventura

ISPRA, Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, Servizio Geologico d'Italia  
Via Curtatone 3, Roma, [carlo.cipolloni@isprambiente.it](mailto:carlo.cipolloni@isprambiente.it), [mariapia.congi@isprambiente.it](mailto:mariapia.congi@isprambiente.it)  
[daniela.delogu@isprambiente.it](mailto:daniela.delogu@isprambiente.it)

### **Riassunto**

Il Servizio Geologico d'Italia nell'ottica di rendere fruibili le informazioni relative a dati e mappe geologiche, ha realizzato all'interno del portale SGI una serie di strumenti che mettono a disposizione dei diversi utenti tutto il patrimonio delle informazioni archiviate nei molteplici database realizzati dallo stesso.

Dopo aver realizzato una prima versione di *geoviewer* con tecnologia *flex* (flash builder) che è stata presentata contemporaneamente al Portale SGI durante il 2010, lo stesso ha realizzato un'evoluzione. La nuova versione è stata necessaria per due motivi: da una parte per mettere a disposizione dell'utente uno strumento di più facile utilizzo e più ricco di strumenti inclusi quelli di analisi, dall'altra la necessità di riorganizzare i contenuti sulla base dei numerosi feedback ricevuti dagli utenti stessi.

La nuova versione è basata sulla tecnologia *Adobe flash 4.5*, utilizzando le specifiche librerie *flex* di Esri nella versione 2.4 integrate con sviluppi ad hoc relativi all'organizzazione delle *widgets* tematiche.

### **Abstract**

*The Geological survey of Italy in a view to be available the information of the geologic data and maps, inside the geoportal SGI has build a series of tools to be able to different users all the of the information archive in the various database developed by itself.*

*After has realised a first version of Geoviewer with flex technologies (flesh builder) which was presented within the Geoportal SGI during the 2010, has also developed an evolution of the same viewer. The new version of the viewer is due two reasons: from technological point of view to be available a more friendly interface to the user that has more tools like analysis widgets; from the other point view to re-organise the contents of data based on the great feedback received by the uses. The new version of viewer is based on the Adobe flash technologies 4.5, using the specific libraries Esri flex 2.4 integrated with specific developing on the thematic widgets organization and functionality.*

*In particular the new geoviewer is structured in three thematic section relate to the geological content: Geologic data where is stored all the data that represent map distribution of the geological data or the data that have generic content. The second theme is represented by the Geologic resources like prospection, boreholes or quarry and the third theme is represented by the hazard events like landslide, active faults, sinkholes and so on.*

*To support the data is realised a set of tools to query and analyze the data: for each layer discoverable in each web service has been developed a specific query window and for some data is possible to operate a combo advanced query to highly the geologic results. Otherwise to easily manage the extra external data an "Add Widget" to manage the web service in several standard (WMS, KML, ArcGIS Server, ArcIMS, Image) has been developed.*

Moreover in the viewer the major base maps has been integrated and now are available OpenStreetMap, Google Map, the Environmental Ministry Ortho-images together at the previous Esri and Geological Survey of Italy base maps.

## Introduzione

Nell'ultimo decennio l'esigenza da parte di utenti esperti di avere a disposizione in modo semplice ed interattivo per la consultazione di dati e mappe via web ha fatto crescere il settore della geovisualizzazione, in concomitanza con la comparsa di innumerevoli interfacce grafiche che via web mettessero a disposizione informazioni geografiche e strumenti di analisi.

In quest'ottica il Servizio Geologico d'Italia ha realizzato all'interno del portale SGI una serie di strumenti così da mettere a disposizione dei diversi utenti tutto il patrimonio delle informazioni archiviate nei molteplici database realizzati dallo stesso.

In particolare dopo aver realizzato una prima versione (figura 1) di visualizzatore con tecnologia *flex* (*flash builder*) presentata in coincidenza della pubblicazione del Portale SGI nel maggio 2010 (Battaglini et al., 2010; Campo et al., 2010), è emersa ben presto la necessità di predisporre una nuova versione sulla base di due motivi fondamentali: da una parte per mettere a disposizione un applicativo di più facile utilizzo e più ricco di strumenti, anche di analisi, rispetto al primo; dall'altra la necessità di riorganizzare i contenuti sulla base dei numerosi *feedback* ricevuti dagli utenti stessi.

Il geovisualizzatore del Servizio Geologico, denominato *GeoMapView*, è realizzato con tecnologia *Adobe flash 4.5* (Adobe, 2011), utilizzato le specifiche librerie *flex* di Esri nella versione 2.4 (Esri, 2011); sulla base di tale piattaforma è stata eseguito uno sviluppo specifico per mettere a disposizione dell'utente i contenuti organizzati per *widget* tematiche al fine di fornire strumenti di interrogazione, anche attraverso *query* combinate, e per fornire estendere l'interfaccia al caricamento di dati esterni.



Figura 1 – Prima versione del GeoMapView con tecnologia *flex* basato sulle librerie Esri api 1.3.



### Sviluppo del viewer e organizzazione dei contenuti

Il geovisualizzatore del Servizio Geologico, denominato *GeoMapView*, nella prima versione si basava sul visualizzatore *Esri flex 1.3* tramite l'utilizzo di librerie nella versione 1.3 sviluppate per il *flex builder 3.0* con compilazione in *SDK (Software Developers Kit) 3.3*. La nuova versione viceversa (figura 2) sfrutta le nuove librerie *Esri flex 2.4* che mettono a disposizione molteplici nuove funzioni e necessitano di un ambiente di sviluppo *Flash builder 4.5* con *SDK 4.1* o superiore. La scelta di sviluppare una nuova versione del visualizzatore, come è stato detto in precedenza, è dettata principalmente dalla necessità di organizzare i contenuti ma anche per la presenza di ulteriori funzionalità messe a disposizione dalla nuova piattaforma software.

La prima parte del lavoro di sviluppo è stata orientata all'organizzazione dei contenuti, ovvero i dati geologici suddivisi in differenti aree tematiche con lo scopo di facilitare all'utente la ricerca di quelli d'interesse. In tal senso si è cercato di organizzare in modo analogo a quanto fatto per i metadati dei dataset e dei servizi presenti all'interno del Portale del Servizio Geologico d'Italia, sono state individuate tre aree tematiche di maggior importanza: Dati geologici, Risorse e prospezioni geologiche e Eventi pericolosi. Nel primo gruppo "Dati Geologici" sono stati accorpati tutti i servizi di dati relativi a dati di mappe geologiche, geofisiche e geotematiche nonché quei dati che per caratteristiche dei contenuti non potevano comunque essere inseriti nelle altre aree. Nel secondo gruppo "Risorse e Prospezioni Geologiche" sono stati inseriti tutti i servizi che si riferiscono a dati prevalentemente puntuali che forniscono informazioni relative alle condizioni del sottosuolo, quali sondaggi profondi e non, risorse idrogeologiche, cave e località d'interesse geologico. L'ultimo dei contenitori presenta i dati relativi a servizi che identificano quei fenomeni che possono dar luogo ad eventi pericolosi sul territorio, quali frane, faglie attive, sprofondamenti, terremoti (catalogo multiplo ottenuto da dati INGV, ex-SSN e DPC).



Figura 2 – Il *GeoMapView* versione 2 con tecnologia *flex* basato sulle librerie *Esri* api 2.4.

Per facilitare la fruizione dei dati, le tre aree sono state rappresentate attraverso dei contenitori (*widgets*) in cui è consentito lo spostamento dei singoli servizi, la definizione del livello di trasparenza del *layer*, la consultazione di informazioni associate ad ogni *layer* e, attraverso l'attivazione di un bottone (*checkbox*), la visualizzazione delle legende dei singoli strati.

In aggiunta, per poter permettere agli utenti una consultazione integrata dei dati disponibili via *web* è stata realizzata ad hoc una *widget* che permette di caricare servizi esterni e sovrapporli a quelli già presenti nel visualizzatore. Tale strumento, mostrato in dettaglio nella figura 3, permette di scegliere tra diversi standard WMS, WFS, KML, ArcGIS Server (*Tiled, Dynamic, Image*) e ArcIMS; una volta inseriti i parametri il servizio verrà aggiunto alla lista dei servizi web personali. Successivamente, questa lista può essere salvata e caricata come un progetto locale, facilitando all'utente l'uso di dati selezionati per successive applicazioni.

Sempre sulla base di quanto emerso dai suggerimenti inviati dagli utenti sono state ottimizzate le funzioni d'interrogazione delle informazioni relative ai singoli elementi geometrici di ogni strato, pertanto sfruttando le nuove funzioni delle librerie nella versione 2.4, per ogni strato di ogni servizio (nel visualizzatore sono disponibili 24 servizi per un totale di 276 strati) è stata creata una finestra di consultazione dei dati per l'interrogazione della singola *feature*.

E' stato eseguito inoltre un enorme lavoro relativo all'implementazione della funzione di *query*. Sulla base della tipologia di dato da interrogare, sono state predisposte *query* specifiche sul singolo dato, oppure mediante una *widget* viene reso disponibile un sistema d'interrogazione avanzata che permette di eseguire *combo-query* sugli strati. La seconda parte del progetto di sviluppo e miglioramento del visualizzatore si è orientata nel fornire una serie di funzioni che tendono o a migliorare le precedenti o addirittura ad inserirne delle nuove. In particolare è stata migliorata la ricerca delle località geografiche, la modalità realizzazione di misurazioni (*measuring*) e disegni (*drawing*) salvabili in locale, la modalità di consultazione dei metadati in cataloghi standard con servizio CSW 2.0.2 e la modalità di consultazione di eventi d'interesse. Inoltre è stata implementata una funzionalità che offre la possibilità agli utenti di segnalare eventi naturali avvenuti sul territorio cliccando sulla carta: verrà inviata in automatico una e-mail al Servizio Geologico con la segnalazione e le coordinate di riferimento dell'evento in oggetto.

La veste grafica rinnovata resa più accattivante e innovativa dal punto di vista tecnico, permette all'utente di raggiungere facilmente tutte le funzioni nonché di selezionare in modo rapido un ampio elenco di mappe di base da sottoporre ai dati visualizzati nel GeoMapView.

In questa nuova versione del visualizzatore sono state integrate oltre a quelle già disponibili ed erogate dalla Esri e dal Servizio Geologico d'Italia stesso, anche altre basi di uso comune come: le Ortofoto del MATTM, OpenStreetMap e Google Map.



Figura 3 – Esempio di Widget per il caricamento dati esterni nel GeoMapView. Tale strumento permette di salvare e caricare la lista dei servizi esterni aggiunti al proprio visualizzatore.



### **Considerazioni**

La nuova versione del GeoMapView che rappresenta lo strumento integrato del Portale SGI per la consultazione dei dati geologici è, con le nuove funzionalità, uno strumento che si rivolge sempre più ad utenti non solo esperti della materia facilitando la consultazione delle informazioni geologiche ma diventa strumento di supporto per la comunità geoscientifica che, all'interno di questo applicativo vede il concretizzarsi della completa integrazione delle informazioni ivi presenti con quelle erogate esternamente da altri enti oppure presenti in locale sul proprio pc.

Pur riconoscendo le limitazioni di tali strumenti in analisi di dettaglio poiché l'uso inappropriato di dati non sovrapponibili può indurre in erronee valutazioni da parte degli utenti è pur sempre una apertura al cittadino alla consultazione di dati che facilitano la consapevolezza delle ricchezze presenti nel proprio territorio e dei fenomeni naturali che possono costituire evento di pericolo per lo stesso.

Con la nuova funzionalità relativa alla segnalazione di un evento sul territorio il GeoMapView si configura per il professionista o il cittadino un importante strumento web 2.0 di conoscenza del territorio italiano, nonché di controllo nei confronti di quegli eventi il cui monitoraggio nel corso degli anni è stato disatteso, in relazione alla sempre più frequente mancanza di fondi indirizzati alla prevenzione e mitigazione del rischio idro-geologico.

La naturale evoluzione del viewer nel prossimo futuro sarà quella, inoltre, di mettere a disposizione dell'utente anche una serie di strumenti di analisi dei dati, quali: elaborazione di profili topografici, analisi di prossimità del dato, definizione di zone circoscritte ad un oggetto geologico e elaborazione di statistiche sul dato.

### **Riferimenti bibliografici**

L. Battaglini, V. Campo, R. Carta, C. Cipolloni, M. P. Congi, D. Delogu, B. Porfidia, M. Roma, R. Ventura, C. Zonetti (2010), "La consultazione dei Servizi Web di Mappe nel Portale Geografico del Servizio Geologico d'Italia", *Atti 14° Conferenza Asita*, 199-203.

V. Campo, C. Cipolloni, M. P. Congi, D. Delogu (2010), "Il catalogo dei metadati del portale geografico del Servizio", *Atti 14° Conferenza Asita*, 435-437.

Adobe (2011), "Flex SDK 4.5", *Adobe Open Source*,  
<http://opensource.adobe.com/wiki/display/flexsdk/Flex+4.5>.

Esri (2011), "ArcGIS API for Flex 2.4", *online document*,  
<http://help.arcgis.com/en/webapi/flex/apiref/index.html>.



## **MOKArtografia storica: un web-gis per la cartografia prima dell'unità d'Italia**

Luigi Colò (\*), Ilaria Di Cocco (\*\*), Maria Luisa Garberi (\*), Giovanni Belvederi (\*)

(\*) Servizio Sviluppo dell'Amministrazione digitale e Sistemi informativi geografici, Regione Emilia-Romagna  
Viale Silvani 4/3, 40122 Bologna, Tel. 0515274857, Fax 051-5274216, e-mail lcolo@regione.emilia-romagna.it  
mlgarberi@regione.emilia-romagna.it, gbelvederi@regione.emilia-romagna.it

(\*\*) Direzione Regionale per i Beni Culturali e Paesaggistici dell'Emilia Romagna, Strada Maggiore 80  
40125 Bologna, Tel. 051 4298216, Fax 051 4298277, e-mail ilaria.dicocco@beniculturali.it

### **Riassunto**

La Regione Emilia-Romagna (Istituto per i Beni Artistici, Culturali e Naturali ed il servizio Sviluppo dell'Amministrazione digitale e Sistemi Informativi Geografici), dopo aver costruito, negli anni '90, una cartografia storico-regionale derivata dalla carta topografica austriaca (scala 1:86.400), ha deciso di georiferire anche le cartografie acquerellate da cui la carta austriaca deriva attraverso una generalizzazione di diverse cartografie realizzate a più riprese.

La georeferenziazione delle cartografie è il passo propedeutico alla costruzione di un web-gis che consenta la consultazione *on-line* delle cartografie storiche.

### **Abstract**

Emilia-Romagna Region administration decided – after it already build in the '90s a regional and historical cartography derived from the topographic Austrian map (scale 1:86.400) - to also georeferentiated the watercolour cartographies which generated the topographic austrian map by a generalization of many cartographies build step by step. Georeferencing is a propedeutical step to build a web-GIS software allowing the on-line consultation of the historical cartographies.

### **Cartografie storiche**

Ad oggi sono state georeferenziate ed inserite nel web-gis le seguenti cartografie:

- Carta Topografica Austriaca 1828 – 1853 in scala 1:86.400 in 53 fogli, coprenti l'intero territorio della regione
- Carta Topografica acquerellata dei Ducati di Parma Piacenza e Guastalla del 1828, conosciuta anche con il nome di “Carta di Maria Luigia” in scala 1:28.800 in 45 tavole coprenti i territori delle province di Parma e Piacenza
- Carta Topografica acquerellata del Ducato di Modena e Reggio del 1821, in scala 1:28.800 in 45 tavole coprenti i territori delle province di Modena e Reggio Emilia
- Carta Topografica acquerellata del Dipartimento del Basso Po 1814, in scala 1:14.400 in 38 tavole coprenti quasi tutto il territorio della provincia di Ferrara.

### **Carta Topografica Austriaca**

Alla fine degli anni '90 una collaborazione tra l'Istituto per i Beni Artistici, Culturali e Naturali ed il Servizio Sistemi Informativi Geografici della Regione Emilia-Romagna ha permesso la costruzione di una carta storica sull'intero territorio regionale, derivata dalle produzioni degli stati preunitari negli anni dal 1828 al 1853.

Il territorio regionale è coperto dalla Carta Topografica Austriaca (scala 1:86.400) e, per una piccola porzione, dalla Carta Topografica degli Stati di terraferma di Sua Maestà il Re di Sardegna del 1853 (scala 1:50.000).

La cosiddetta Carta Topografica austriaca si compone in realtà di diverse cartografie realizzate a più riprese, secondo il naturale e progressivo impegno del Genio Militare dell'Imperial Regio Esercito Austriaco di cartografare i territori italiani soggetti al governo di Vienna o da esso controllati.

Nel corso della prima metà dell'800 si concretizza dunque quello che fu il progetto napoleonico di dotare la penisola italiana di una carta sul modello di quella francese e si costituisce così la base fondamentale della topografia della penisola sino alle produzioni unitarie. Nelle rappresentazioni territoriali del periodo preunitario, sia che si voglia fare propaganda diretta o lanciare un messaggio obliquo, c'è sempre un proposito comune: la carta deve mostrare un'immagine unitaria del territorio che prefiguri l'unità politica della nazione, nel caso dei cartografi austriaci si trattava di preparare la base unitaria per un'espansione dell'impero. Le singole carte sono del tutto omogenee per scala, disegno, simbologia e sono perfettamente assemblabili in un unico reticolo.

La carta topografica austriaca è stata scansionata a 1016 punti per pollice, successivamente è stata georiferita paragonando i punti trigonometrici della carta storica con punti trigonometrici di cui si conoscevano le coordinate sulla cartografia attuale. Le coordinate dei punti trigonometrici della cartografia storica erano noti solo per il Ducato di Parma, Piacenza e Guastalla e per il Regno Lombardo Veneto, in quanto sono pubblicati a lato di due fogli in possesso dell'Istituto; mancavano quindi i punti dello Stato Pontificio e del Regno di sua Maestà Sarda.

I punti trigonometrici della carta storica sono identificati dalle coordinate lineari est e sud riferite al meridiano passante per la guglia del Duomo di Milano e alla sua perpendicolare, espresse in tese di Vienna, nel sistema di riferimento Cassini.

La difficoltà della trasformazione dalle coordinate Cassini, con emanazione a Milano, al sistema UTM, la difficile reperibilità delle coordinate mancanti e l'onerosità della trasformazione da Tese di Vienna o Klafter (1,896406 metri) al sistema metrico decimale hanno consigliato di utilizzare il metodo di paragonare i punti riconosciuti sulla carta direttamente ai trigonometrici presenti nelle monografie dell'Istituto Geografico Militare (IGM). Questo metodo non ha potuto tener conto dei possibili spostamenti dei punti riconosciuti rispetto alla posizione che avevano a metà dell'Ottocento. Nonostante i punti trigonometrici siano posti su costruzioni piuttosto stabili nel tempo (campanili, torri...), non va dimenticato che la regione Emilia-Romagna è stato teatro della seconda guerra mondiale e ha subito numerosissimi bombardamenti che hanno distrutto un certo numero di edifici, che potevano essere portatori di capisaldi. I punti trigonometrici riconosciuti con certezza nelle monografie dell'IGM sono stati scelti anche in base alle loro posizioni, in modo da distribuirli il più possibile in maniera omogenea sull'estensione del foglio. Sono stati utilizzati fino ad un'ottantina di punti per foglio. La georeferenziazione risultante ha comunque sofferto di tutti i problemi legati a un oggetto cartaceo storico e presenta una media di errori variabili a seconda dei fogli che sono rappresentati nel grafico di figura 1.

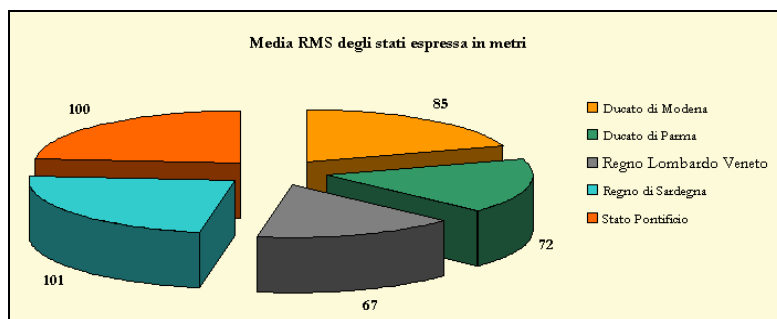


Figura 1 – Media degli errori di georeferenziazione delle cartografie storiche.

I valori espressi in metri sono stati ritenuti accettabili, trattandosi della georeferenziazione di cartografie storiche.

Il mosaico è stato infine suddiviso secondo il taglio cartografico dei moderni fogli 1:50.000 dell'Istituto Geografico Militare.

Le legende delle varie carte sono piuttosto simili e confrontabili tra loro, la viabilità e gli insediamenti sono rigorosamente classificati; i limiti amministrativi definiscono gli ambiti sino al distretto; vengono riportate tutte le chiese parrocchiali, gli oratori e le cappelle, i mulini, le stazioni di posta, le cave e le miniere, le fonti e le sorgenti; sono classificati i ponti, i guadi ed i passaggi fluviali. L'attività agricola è identificata attraverso segni convenzionali molto dettagliati. L'orografia è a tratteggio con l'umebgiamento zenitale; i punti quotati sono assai limitati.

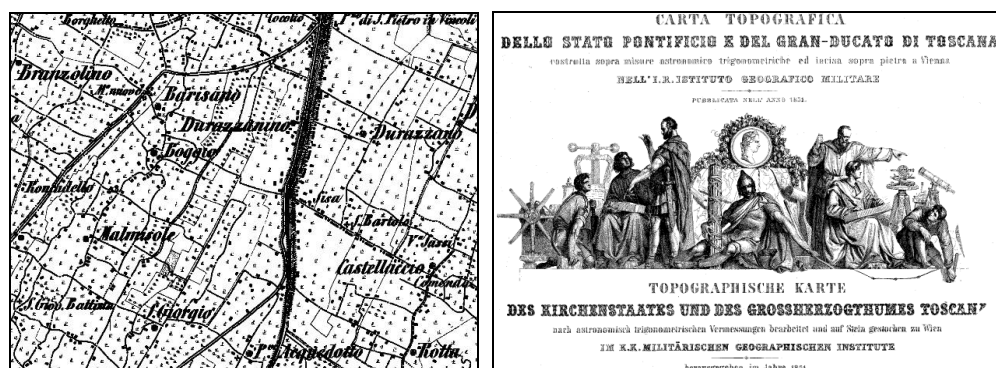


Figura 2 – Esempio della Carta topografica austriaca e particolare del cartiglio dello Stato pontificio.

### Carta Topografica del Ducato di Modena 1821- 1828

#### Carta Topografica del Ducato di Parma, Piacenza e Guastalla 1828

La carta del Ducato di Modena è stata rilevata dal Regio Ducale Corpo del Genio Militare estense, su commessa dell'istituto cartografico militare austriaco, sotto la direzione del maggiore Giuseppe Carandini; venne incisa su rame nel 1828 dal Regio Istituto Geografico Militare Austriaco in Milano e servì per la riproduzione e il disegno della carta alla scala di 1:86.400.

La carta del Ducato di Parma è stata rilevata dal Genio Militare austro-ungarico. La proiezione con la quale sono costruite è quella conica di Cassini orientata alla guglia del duomo di Milano. La scala è 1:28.000; le carte sono state costruite su misurazioni trigonometriche, mediante cui è possibile stabilire distanza e altitudine dei luoghi con esattezza, quindi risultano precise e ricche di informazioni. Il rilievo, anche in questo caso, è rappresentato con il 'tratteggio orografico' consentendoci di ben apprezzare la conformazione e l'andamento delle catene montuose. La perizia degli ufficiali, degli allievi e dei tecnici del Genio Militare austriaco ed estense, si è espressa in primo luogo nella scelta di colori e di sfumature di effetto estetico, che distinguono il seminativo arborato (la piantata padana, con i filari di vite maritata ad un sostegno vivo alternati a parcelle coltivate a cereali), quello semplice, i prati stabili, le risaie, i boschi, le distese paludose, i letti ghiaiosi dei torrenti, i paleo alvei del Po e dei suoi affluenti, le fonti e le sorgenti. Gli insediamenti, opere e manufatti in genere sono campiti in rosso e restituiti in modo non simbolico, secondo proporzione, dimensione e forma. Bianco è invece lo spazio pubblico urbano, in rosso anche gli insediamenti sparsi. Il reticolo stradale è riportato in rosso e bistro, a tratto continuo di diverso spessore; il primo per le strade di grande comunicazione, il secondo per la rete di collegamento minore ad indicare la gerarchia del reticolo stesso. L'idrografia ed il sistema delle acque sono indicati con grande cura e contrassegnati dal colore celeste, talvolta sfumato. Il reticolo minore è disegnato con un tratto sottile azzurro, con una articolazione del segno ad indicarne il carattere e la

gerarchia. L'orografia è restituita mediante l'umebgiamento zenitale che mette in evidenza l'andamento dei crinali e la forma del rilievo.

L'utilizzo principale di queste cartografie era prettamente militare, come si desume dall'evidenza delle distese prative, potenziali sedi di manovre o eventualmente campi di battaglia, dal vivace colore arancio a indicare la piantata, che con i suoi filari costituiva un ostacolo alla visuale e al tiro ed un rischio per la cavalleria. Nonostante siano nate per questi scopi, le cartografie ci restituiscono comunque una rappresentazione delle componenti fondamentali del paesaggio di quel tempo.

### **Carta Topografica del Dipartimento del Basso Po o Carta del Ferrarese 1814**

La carta, in scala 1:14.400, è stata rilevata per scopi idraulici dal Deposito della Guerra di Milano, durante il Regno d'Italia nel periodo napoleonico. Il rilevamento non è completo, perché la caduta di Napoleone lo interrompe e non sarà più ripreso.

L'acquerello della carta presenta un aspetto decisamente più artistico delle cartografie precedenti: i boschi e le paludi, ad esempio, sono rappresentati con una visione a volo d'uccello. Gli abitati sparsi sono disegnati in carminio, l'uso del suolo è rappresentato con differenti tonalità di verde; sono indicati i filari di alberi, gli orti e i maceri. L'idrografia è particolarmente curata, con la presenza di scoli che dividono i campi.

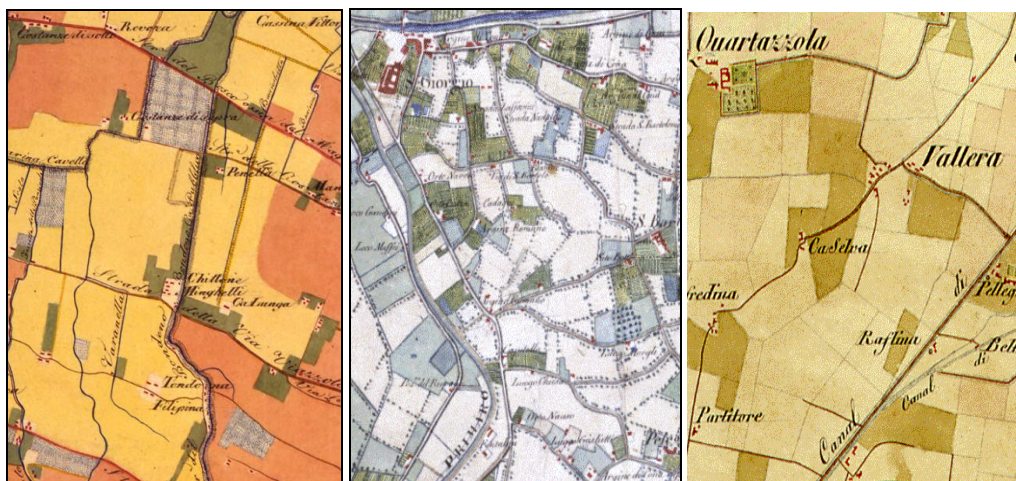


*Figura 3 – Esempi di pianura delle cartografie acquerellate, da sinistra a destra: Ducato di Modena, Carta del Ferrarese e Ducato di Parma.*

### **Georeferenziazione**

Il processo di georeferenziazione delle Carte Storiche dei Ducati di Parma e Piacenza, di Modena e del territorio ferrarese è stato eseguito con l'ausilio del Software ESRI Arc Map.

Le carte dei ducati di Modena e Parma sono parzialmente sovrapposte nel confine est del Ducato di Parma e Piacenza ed il quello ovest del Ducato di Modena; complessivamente i fogli sovrapposti sono 18.

La georeferenziazione del singolo foglio è stata eseguita con il metodo del polinomio del primo ordine che non deforma in modo significativo il foglio originale. Per ciascun foglio si è cercato di far collimare innanzitutto i quattro vertici con la Carta Tecnica Regionale in scala 1:5000. Oltre ai 4 vertici sono stati scelti almeno altri quattro punti distribuiti uniformemente sul territorio. In alcuni casi i punti di collimazione sono stati molti di più di otto fino a venti.

I punti di collimazione scelti riguardano principalmente incroci stradali oppure singoli fabbricati rimasti immutati e riconoscibili anche dopo quasi duecento anni.



Particolarmente facile e rispondente alla realtà moderna è stata la collimazione dei punti dei fogli di pianura o dei centri abitati. Le carte, nate per scopi militari, raffigurano in modo molto particolareggiato i bastioni dei forti, quindi questo tipo di fortificazioni sono state utilizzate per la georeferenziazione, ad esempio questo è avvenuto per il forte di Parma e di Castelfranco Emilia.



*Figura 4 – Esempi di montagna delle cartografie acquerellate, da sinistra a destra: Ducato di Parma e Ducato di Modena.*

Più difficile e laboriosa è stata invece la georeferenziazione dei fogli delle zone montane dove, spesso non c'erano punti sicuri, sono stati scelti allora i baricentri dei piccoli centri abitati, le chiese dei borghi stessi e gli incroci delle strade di montagna, oppure ancora, come ultima possibilità, le anse dei fiumi.

La georeferenziazione risultante presenta degli errori quadratici medi attorno ai quaranta – cinquanta metri terreno; risultato soddisfacente trattandosi come già detto di un documento storico che ha subito numerose deformazioni nel corso del tempo.

## WEB GIS

MOKA è un CMS (Content Management System) GIS che consente di creare interattivamente applicazioni GIS, sia in ambiente WEB che in ambiente desktop, utilizzando cartografie, temi, legende, database e funzioni organizzati in un catalogo condiviso, da parte di un utente senza conoscenze specifiche di programmazione o di ambienti di sviluppo.

Mokartografia storica è un'applicazione della famiglia moka, che permette la visione di cartografie storiche georiferite sul territorio.

Le cartografie di base, sui cui visualizzare le cartografie storiche inserite, sono le seguenti:

- Limiti amministrativi provinciali e comunali
- Ctr raster (scale 5.000, 25.000 e 250.000)
- Ortofoto satellitari a colori (versione 2008)

La presenza di questi strati consente il confronto della rappresentazione storica con la situazione attuale e facilita il riconoscimento di elementi del territorio non più leggibili ai giorni nostri.

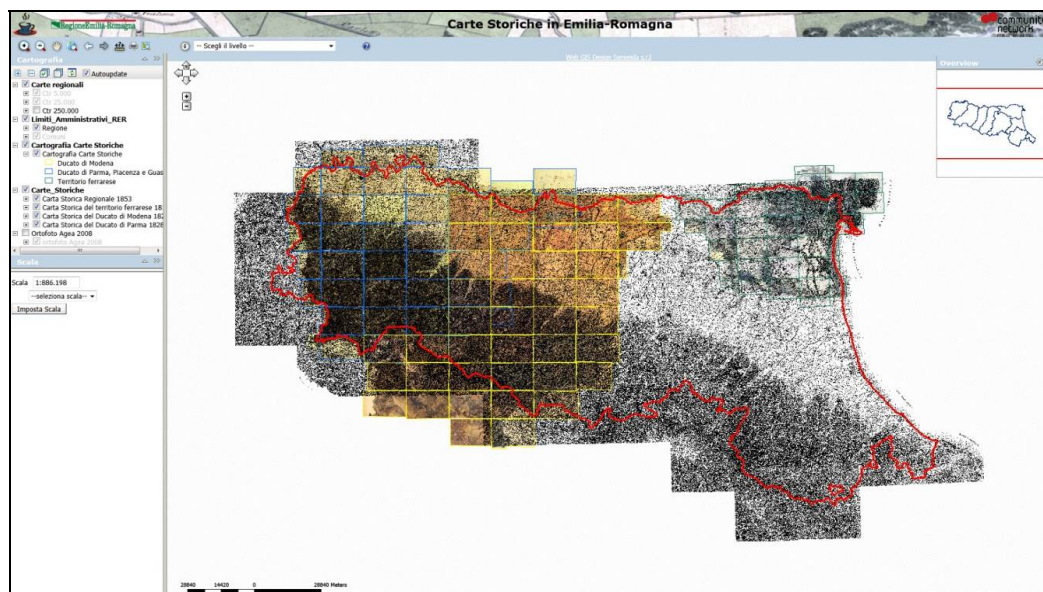


*Figura 5 – Videata con le cartografie storiche ed i rispettivi quadri d'unione.*

Le funzionalità disponibili nell'applicazione sono costituite da un insieme di funzioni generalizzate nell'ambiente moka.

In particolare:

- Impostazione della scala
- Interrogazione mediante carotaggio dei livelli cartografici
- Stampa della mappa inquadrata a video in formato pdf
- Strumento per il posizionamento sul territorio con le seguenti modalità:
  - Ricerca e posizionamento per toponimi: la ricerca consente di posizionarsi utilizzando la base dati dei toponimi tratti dalla CTR 5000.
  - Ricerca e posizionamento su una provincia o un comune: la ricerca consente di posizionarsi utilizzando l'elenco dei comuni o delle province.
  - Ricerca e posizionamento su una via o un numero civico: la ricerca consente di posizionarsi in base ad un indirizzo su tutto il territorio regionale utilizzando i servizi offerti dal web-service e-geco (normalizzatore) che fornisce una serie di funzioni di normalizzazione di dati relativi ad indirizzi.
  - Ricerca e posizionamento su una particella catastale: la ricerca consente il posizionamento in base agli estremi di una particella catastale su tutto il territorio regionale.
  - Ricerca e posizionamento su una sezione di censimento: la ricerca consente il posizionamento in base agli estremi di una sezione di censimento su tutto il territorio regionale.
  - Ricerca e posizionamento su un oggetto selezionato in uno dei livelli cartografici presenti nell'applicazione.

Le scelte effettuate nel corso delle attività di ricerca da parte dell'utente del sistema sono mantenute nella richiesta successiva (ad es. scelto un comune, non è necessario sceglierlo nuovamente se si cambia il criterio di ricerca).

## **Conclusioni**

La georeferenziazione di una carta storica non va intesa come mirata all'ottenimento di una base immediatamente confrontabile in modo automatico con gli strumenti più recenti, ma, per l'errore insito nella base storica, come uno strumento per effettuare dei confronti "a vista", ossia effettuando un riconoscimento degli elementi modificati e di quelli invariati.

Questo non sminuisce l'importanza di avere a disposizione uno strumento che permette di sovrapporre e confrontare con immediatezza le forme del paesaggio degli ultimi due secoli, ponendoci di fronte all'evidenza della portata dei cambiamenti che hanno coinvolto il paesaggio e l'ambiente in cui viviamo.

L'applicativo può, naturalmente, essere arricchito con altre cartografie storiche, che verranno reperite in futuro. La mancanza annosa di fondi e la situazione attuale non consentono facilmente le operazioni propedeutiche al caricamento di nuove cartografie, come la foto digitale o la scansione. Si auspica comunque di poter coprire il territorio con altre cartografie storiche.

## **Bibliografia**

Pezzoli S., Venturi S. (1987), *Una carta del ferrarese del 1814*; Silvana Editoriale, Amilcare Pizzi S.p.A. arti grafiche, Cinisello

Pezzoli S., Venturi S. a cura di (1999), *Topografia degli stati estensi, 1821-1828: territori di Modena, Reggio, Garfagnana, Lunigiana, Massa e Carrara*; Editrice Compositori, Bologna



## **La digitalizzazione e georeferenziazione dell'archivio cartografico e aerofotografico storico dell'IBC. Osservazioni metodologiche**

Luigi Colò (\*\*), Ilaria Di Cocco (\*), Maria Luisa Garberi (\*\*), Giovanni Belvederi (\*\*),  
Stefano Pezzoli (\*\*\*), Franco Siligardi

(\*) Direzione Regionale per i Beni Culturali e Paesaggistici dell'Emilia Romagna, Strada Maggiore 80  
40125 Bologna, Tel. 051 4298216, Fax 051 4298277, e-mail [ilaria.dicocco@beniculturali.it](mailto:ilaria.dicocco@beniculturali.it)

(\*\*) Servizio Sviluppo dell'Amministrazione digitale e Sistemi informativi geografici, Regione Emilia-Romagna  
Viale Silvani 4/3, 40122 Bologna, Tel. 051 5274857, Fax 051 5274216, e-mail [mlgarberi@regione.emilia-romagna.it](mailto:mlgarberi@regione.emilia-romagna.it)  
[lcolo@regione.emilia-romagna.it](mailto:lcolo@regione.emilia-romagna.it), [gbelvederi@regione.emilia-romagna.it](mailto:gbelvederi@regione.emilia-romagna.it)

(\*\*\*) Istituto per i Beni Artistici, Culturali e Naturali della Regione Emilia-Romagna, via Marconi 8, 40122 Bologna  
Tel. 051 5276163, Fax 051 6569582, e-mail [spezzoli@regione.emilia-romagna.it](mailto:spezzoli@regione.emilia-romagna.it)

### **Riassunto**

Si illustra l'esperienza della digitalizzazione dell'imponente archivio carto/fotografico dell'Istituto per i Beni Artistici Culturali e Naturali della Regione Emilia Romagna, dove nel corso di decenni sono state acquisite le principali cartografie preunitarie, le prime levate della cartografia IGM e delle CTR, le serie fotografiche "storiche" disponibili ed eseguite fra il 1931 e il 1955 (voli IGM, RAF, GAI), costituite da quasi 5000 foto aeree, oltre alle immagini realizzate per la costruzione e l'aggiornamento della cartografia regionale nel corso degli anni '70 e '80. Fin dal 2000 è stata intrapresa la digitalizzazione e georeferenziazione di questo imponente archivio; per non incorrere tuttavia in errori metodologici e in analisi superficiali dei risultati, è stato necessario aver ben chiari alcuni presupposti metodologici del processo di georeferenziazione di tali documenti.

### **Abstract**

In this article we illustrate the digitalization experience of the very large archive of cartographies and photos of the "Beni Artistici Culturali" Institute of the Emilia-Romagna region. During many decades, this Institute acquired the most important cartographies of Italy before 1861. Some of these cartographies are coming from Geographic Military Institute, some of them are the historical aerial photos took in between 1931 and 1955 (IGM, RAF and GAI flights). All these photos are around 5000; further there are more photos took to build and update the regional cartography during '70s and '80s. Since 2000 we started digitizing and georeferencing this very large archive; nevertheless, to avoid methodology errors and trivial results, we needed to have clearly in mind some methodology assumptions of the georeferencing process of these historical documents.

### **L'archivio dell'Istituto per i Beni Artistici Culturali e Naturali (IBC)**

Per decenni l'Istituto per i Beni Artistici Culturali e Naturali della Regione Emilia Romagna ha raccolto e organizzato dati e compiuto campagne di ricerca e rilevamento degli insediamenti storici e dei beni culturali e ha acquisito le principali fonti cartografiche ed iconografiche storiche del territorio regionale per un loro utilizzo ai fini dell'individuazione dei siti storici e per un confronto fra l'assetto territoriale storico e quello attuale. Queste attività sono state svolte sia per l'analisi urbanistica e architettonica che per l'individuazione delle disomogeneità e delle evoluzioni salienti del territorio e per l'interpretazione di fenomeni idrogeologici e morfologici e quindi del paesaggio regionale, arrivando a creare un archivio iconografico di oltre 100.000 documenti. Il confronto fra la cartografia moderna e la documentazione iconografica e cartografica storica è sempre stato

quindi alla base delle raccolte di materiali e dell'attività dell'Istituto, assunto poi come criterio metodologico dal piano paesistico regionale della regione Emilia Romagna.

A questo scopo nel corso degli anni sono state quindi acquisite le principali cartografie preunitarie, le prime levate della cartografia IGM e delle CTR e le serie fotografiche "storiche" disponibili ed eseguite fra il 1931 e il 1955, costituite da quasi 5000 foto aeree, oltre alle immagini realizzate per la costruzione e l'aggiornamento della cartografia regionale nel corso degli anni Settanta e Ottanta. Le serie storiche più importanti sono quelle effettuate dall'I.G.M. (Istituto Geografico Militare) negli anni 1931-37 (quasi 3000), le foto aeree R.A.F. (Royal Air Force) degli anni 1943-45 (521) e quelle del G.A.I. (Gruppo Aereo Italiano) del 1954-55 (quasi 1300).

### **L'avvio del percorso di georeferenziazione**

La disponibilità di questo prezioso materiale è sempre stata garantita agli studiosi e agli interessati alla loro visione e fruizione; l'elenco completo è sempre stato consultabile presso l'archivio cartografico dell'IBC grazie a un programma informatico che permetteva la ricerca per Comuni e località o numero di fotogramma, se noto. Questo "vecchio" database per anni è stato un valido aiuto che permetteva l'individuazione delle immagini in tempi relativamente brevi, ma il loro utilizzo richiedeva interventi manuali (fotocopie o digitalizzazione).

L'evoluzione che la tecnologia GIS ha avuto intorno all'anno 2000 ha permesso, in seguito, di ideare ed elaborare l'archivio come un sistema informativo, che consentiva di collezionare sia la documentazione grafica sia quella alfanumerica, permettendo la creazione dei collegamenti tra gli oggetti che lo costituiscono ed effettuando inoltre ricerche con modalità grafiche e non solo partendo da una *query* alfanumerica.

Progressivamente è cresciuta la consapevolezza che la disponibilità e l'immediatezza della documentazione foto-cartografica storica, una volta resa disponibile in formato digitale georeferenziato, immediatamente sovrapponibile ad ogni tipologia di strato informativo territoriale, mette tale patrimonio al servizio di un pubblico sempre più ampio di utenti e soprattutto dei soggetti preposti al governo del territorio, in particolare alla sua tutela e alla pianificazione dei cambiamenti e delle scelte. Si è così avuto un progressivo estendersi di accordi di collaborazione, siglati con altri Servizi Regionali, Dipartimenti universitari, Uffici del Ministero dei Beni Culturali e altri enti pubblici, che testimoniano l'importanza del lavoro svolto e di quello che è ancora da fare per una sempre maggiore consapevolezza delle dinamiche uomo-ambiente e delle responsabilità delle scelte antropiche nel determinare il futuro del nostro territorio.

### **Considerazioni sulla georeferenziazione di documenti storici**

Come appena accennato, georeferenziare un documento storico, che sia una cartografia o una foto aerea d'epoca, vuol dire mettere a disposizione tale documento per una serie amplissima di utilizzi e di applicazioni, che si basano sulla facilità di confrontarlo con documenti attuali o di epoche diverse, e di sovrapporlo in modo semplice e 'immediato' alle basi più diverse.

Per non incorrere tuttavia in errori metodologici e in analisi superficiali di tali confronti, è necessario aver ben chiari alcuni presupposti metodologici del processo di georeferenziazione di tali documenti, che lo rendono peculiare.

Si deve infatti aver presente la natura stessa del documento utilizzato, che spesso offre livelli di precisione così elevati che possono destare stupore rispetto all'epoca in cui il documento fu redatto, ma che comunque non sono paragonabili a quelli di una fonte attuale. Questo 'vizio' d'origine è dovuto nel caso della cartografia sia, principalmente, al livello di precisione degli strumenti di rilievo, sia talora anche ad una certa tendenza dell'estensore della carta a 'regolarizzare' alcuni elementi in realtà molto meno rettilinei e precisi di quanto l'occhio del cartografo andava interpretando. È tuttavia un problema, quest'ultimo, forse molto più sensibile nelle prime cartografie, quelle che potevano giovare di una minore strumentazione, e quindi più soggette ad una schematizzazione 'ad occhio'. Si può confrontare, ad esempio, la carta del territorio di S. Agata Bolognese dell'arciprete Melega ("Disegno del Castello e Territorio di S. Agata, con la pianta reale



di tutti i beni Comuni de' Partecipanti di detto luogo, loro sito, e misure") del 1693 rispetto a quella redatta da Andrea Chiesa cinquant'anni dopo, dove già le strade assumono una complessità di percorso molto più vicina al vero (fig. 1).

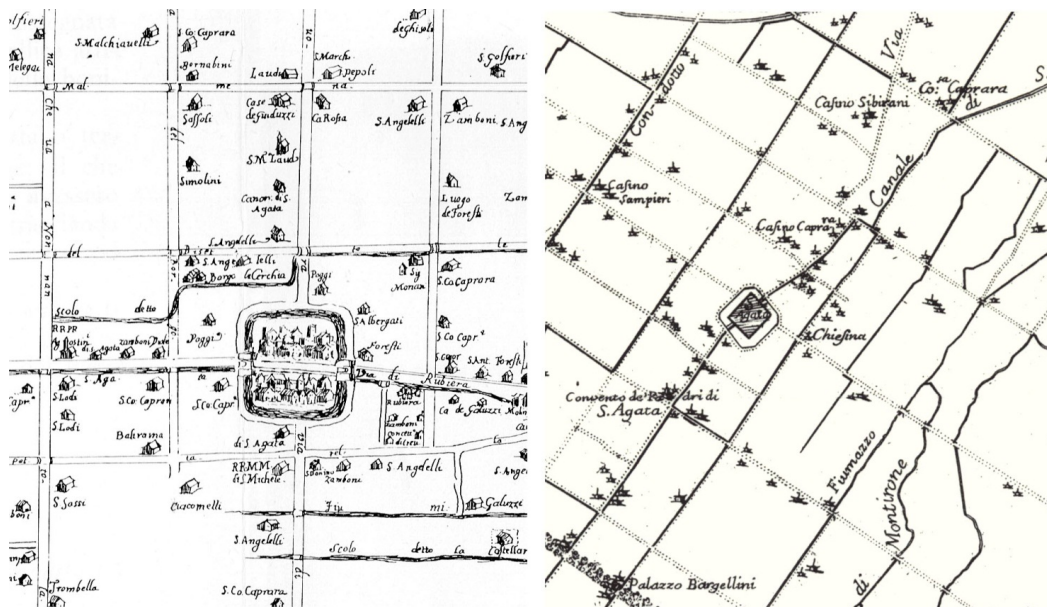


Figura 1 – Il territorio centuriato attorno a S. Agata Bolognese (BO) è rappresentato in modo molto più schematico nella carta del Melega (a destra) che in quella di A. Chiesa (a sinistra).

Il problema dell'interpretazione del rilevatore/cartografo, che tende a regolarizzare quello che 'inaspettatamente' non è regolare come dovrebbe essere, si perpetua nel tempo invece per documenti estranei a questo lavoro, come le planimetrie degli edifici storici o dei resti archeologici, fino all'avvento delle più recenti tecniche di rilievo.

Per quanto riguarda le foto aeree d'epoca, invece, il vizio d'origine talora è dovuto alla vocazione particolare delle riprese, come nel caso delle riprese RAF: quindi alle condizioni di contesto. Le fotocamere (fig. 2) usate per le riprese aeree nel periodo del secondo conflitto mondiale, sia pur nella loro notevole perfezione tecnica, scontavano le precarie condizioni di ripresa.

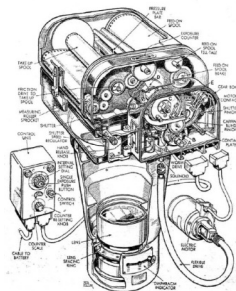


Figura 2 – Schema costruttivo della fotocamera Mk I – 7" x 7".

Lo scopo per cui venivano effettuate le riprese era sia l'individuazione degli obiettivi bellici da bombardare, sia il controllo a posteriore dei danni effettuati e la precisione del bombardamento (fig.3). Le riprese quindi non nascevano per dare origine a piani quotati ma per la riproduzione stereoscopica, quindi non aveva grande importanza l'esatta ortogonalità della ripresa e la costanza della quota, che avrebbero garantito una costanza della scala.



*Figura 3 – Installazione delle fotocamere sui ricognitori R.A.F.*

Le deformazioni ai bordi del fotogramma sono quindi inevitabili e creano numerosi problemi in fase di georeferenziazione. Oltre ai vizi di origine, il documento storico, nel passaggio dalla versione originale e quella digitale, soffre di ulteriori deformazioni dovute ai passaggi legati alla stampa, alla riproduzione e alla scansione, che necessariamente contribuiscono ad alterarne la precisione. In questo senso sarebbe opportuno cercare di acquisire un documento il più possibile prossimo all'originale, anche se spesso ciò è reso difficile da motivazioni di tipo economico, tecnico e talora legate direttamente alla conservazione degli originali.

È evidente che con questi limiti di precisione, a cui va ad aggiungersi necessariamente l'errore dovuto al procedimento stesso di georeferenziazione, a partire dalla difficoltà di reperire punti perfettamente omologhi, non ci si può aspettare una perfetta sovrapponibilità del documento storico. Si deve inoltre ricordare che nei progetti relativi all'Archivio fotografico dell'IBC si è proceduto alla sola georeferenziazione e non ad un'ortorettifica delle foto, ignorando quindi la deformazione dovuta alla morfologia del rilievo. La georeferenziazione di una carta storica o di una foto aerea d'epoca non va intesa quindi come mirata all'ottenimento di una base immediatamente confrontabile in modo automatico con gli strumenti più recenti, da cui sia possibile estrapolare degli elementi per un confronto geometrico e un riconoscimento automatizzato, ma, per l'errore insito in questa tipologia di operazione, come uno strumento per effettuare poi dei confronti "a vista", ossia da interpretare da parte di un operatore esperto che effettui un riconoscimento degli elementi modificati e di quelli invariati. Questa avvertenza tuttavia non sminuisce l'importanza di avere a disposizione uno strumento che permette di sovrapporre e confrontare con immediatezza le forme del paesaggio degli ultimi due secoli, ponendoci di fronte all'evidenza della portata dei cambiamenti che hanno coinvolto il paesaggio e l'ambiente in cui viviamo.

### **Metodologia di georeferenziazione di un singolo documento storico**

Rispetto alla procedura standard di georeferenziazione di documenti recenti, nel procedere al posizionamento delle carte e delle foto dell'archivio storico IBC si è naturalmente dovuta adottare una metodologia specifica, a partire dalla difficoltà di riconoscimento, talora, del soggetto della carta, e più frequentemente della foto analizzata. Un grande contributo in questo senso è venuto dal lavoro pregresso di ordinamento dell'archivio, che ha portato a precedenti catalogazioni degli scatti, con indicati i Comuni e le zone di riferimento, e al posizionamento orientativo delle strisciate sui fogli dell'IGM. Tale lavoro, frutto di un impegno e di un'esperienza più che decennale, ha costituito la base fondamentale da cui partire nella maggioranza dei casi, mentre per le acquisizioni dei fondi più recenti, ad esempio per le foto RAF provenienti dall'Aerofototeca Nazionale, si disponeva comunque di primi elementi di identificazione.

Nei casi in cui il territorio è mutato in modo troppo radicale rispetto al momento della ripresa fotografica, ad esempio nelle zone di bonifica o a più forte urbanizzazione, anche una volta riconosciuta la zona di appartenenza della foto grazie al posizionamento della strisciata, si riscontra comunque la difficoltà di individuare elementi in comune tra il documento e la cartografia attuale.

In alcuni di questi casi si è reso necessario inserire un passaggio intermedio nel processo di georeferenziazione, per cui è stata caricata una cartografia più vicina all'epoca del documento e già georeferenzata, in cui è stato possibile riconoscere dei punti in comune con la foto. Questo procedimento implica naturalmente un aumento del margine di errore, perché si viene a collocare la foto su un documento che a sua volta ha subito una serie di passaggi (stampa/copia da originale, scansione, georeferenziazione). Esso tuttavia si è spesso rivelato necessario e molto efficace, ad esempio per il posizionamento di singoli fotogrammi degli scatti IGM degli anni Trenta, in cui la ristrettezza dell'area fotografata ostacolava ulteriormente la possibilità di riconoscere elementi immutati in aree a forte trasformazione. In questi casi si sono utilizzate le tavolette IGM di secondo impianto, di epoca abbastanza vicina al volo se non proprio create/aggiornate sulla base del volo 1931-1937. Tali tavolette infatti, coprendo ampie sezioni territoriali, erano sempre collocabili con precisione non difettando di punti di riferimento e a loro volta ne fornivano di specifici per il collocamento della foto.

In generale comunque il problema di individuare con precisione punti di riferimento che siano immutati è tra i principali di questo tipo di lavoro, e contemporaneamente permette, specialmente a livello didattico, di riconoscere delle tendenze evolutive dei singoli segni del paesaggio, naturali ed antropici. In generale, com'è ovvio, questi ultimi sono più precisi dei primi, che tendono a modificare la propria posizione con una certa continuità. Si pensi ad esempio ai corsi d'acqua, quando non completamente artificializzati come taluni canali arginati. L'utilizzo di elementi naturali è quindi da riservare sostanzialmente ai casi in cui non esistano alternative, ad esempio in alcuni paesaggi deltizi anteriori alla bonifica, dove si è reso necessario correlare gli elementi affioranti, ad esempio isole fluviali, riconoscibili con una discreta approssimazione sulla cartografia coeva. Per quanto riguarda gli elementi antropici, si può osservare in linea generale come i manufatti di maggior impegno, strutturale ed economico, siano quelli più stabili nel tempo, come ad esempio, tra gli edifici, i monumenti e i luoghi di culto. Le singole case, invece, sono più frequentemente sottoposte a ristrutturazioni che ne alterano i confini e le rendono meno affidabili come punti di riferimento. Per quanto riguarda gli assi stradali, essi sono generalmente tra i punti di riferimento più affidabili e riconoscibili, in particolare per quanto riguarda gli incroci. Si deve tener conto però che questi ultimi spesso sono stati modificati per le esigenze della viabilità moderna, ad esempio allargati od arrotondati (fig. 4), per cui si deve porre particolare attenzione ad individuare un punto dell'incrocio ben riconoscibile, ad esempio il centro od un angolo non toccato. Molto utili come punti di riferimento, quando sono presenti, sono anche i ponti, che tendono a rimanere stabili nel tempo e semmai a modificare, attraendoli, gli elementi del paesaggio circostanti.



*Figura 4 – Antico incrocio centuriale della campagna bolognese.*

Per i motivi di deformazione insiti nei documenti storici e accennati nella premessa, risulta difficile stabilire un limite di accettabilità dell'errore registrato in fase di georeferenziazione. Ogni serie naturalmente ha un suo margine di tollerabilità, legata alle sue specifiche caratteristiche di rilievo o di ripresa, ma si può osservare in generale che a livello statistico si registra un errore crescente man mano che si inseriscono nuovi punti di riferimento. Paradossalmente, cioè, raffittendo la rete di riferimento, il risultato appare peggiore, poiché il sistema rileva maggiormente l'errore insito nel documento di base. Tuttavia è evidente che a fronte di questo apparente peggioramento, il risultato è invece decisamente più accurato, andando a correggere tutti i singoli settori della foto, purché si mantenga sempre una distribuzione equilibrata dei punti e non si concentrino unicamente nelle zone più problematiche.

I problemi posti dal processo di georeferenziazione di un documento storico possono essere meglio descritti esaminando l'impostazione metodologica data ad un caso specifico affrontato nel nostro progetto.

L'attività di georeferenziazione delle fotografie aeree RAF del 1943/45 è partita dalla scelta della base cartografica di riferimento su cui riconoscere i punti omologhi di posizionamento, dal metodo di georeferenziazione e dai vincoli che il tipo di fruizione del documento storico pone.

Si è scelto di usare:

- per lo sfondo cartografico: la C.T.R. 1:5.000 prodotta dalla Regione Emilia-Romagna
- per la georeferenziazione: il *software* ESRI ArcGIS 9.3.1
- per la metodologia: la trasformazione affine definita, in ambiente ArcGIS, come “*1st Order Polynomial (Affine)*” una trasformazione piana definita da 6 parametri cioè una rototraslazione con variazione anisotropa di scala e scorrimento angolare (fig. 5)

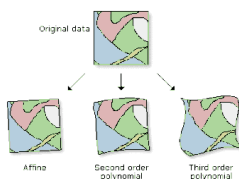


Figura 5 – ESRI, Metodi di trasformazione.

La scelta, come sfondo cartografico, della C.T.R. 1:5.000 è dettato dal fatto che è la base cartografica di riferimento a grande scala disponibile sia come singoli elementi *raster* sia come servizi di mappa *Web* (WMS), molto precisa come georeferenziazione e con un contenuto informativo adeguato per un accurato riconoscimento del territorio, disponibile ed omogenea su tutto il territorio regionale.

Il software ESRI è lo standard di riferimento GIS nell'Ente Regione Emilia-Romagna, ed è il sistema con cui sono stati sviluppati tutti i servizi esposti dall'infrastruttura geografica regionale.

La trasformazione affine è il sistema che meglio mantiene le proporzioni dell'immagine originale.

Per alcune “strisciate” localizzate ai confini regionali ed oltre, non coperte dalla cartografia regionale (per esempio la zona del comune di Luzzara in provincia di Reggio nell'Emilia confinante con la provincia di Mantova), è risultato molto utile, per georiferire i singoli fotogrammi, accedere ai servizi cartografici web esposti dalla Regione Lombardia.

Il riconoscimento dei punti omologhi per la georeferenziazione è risultato spesso complicato dal profondo cambiamento dell'aspetto del territorio, la viabilità è totalmente cambiata, le aree agricole erano caratterizzate da una parcellizzazione molto fitta tipica della “piantata padana” oggi scomparsa, il reticolo fluviale ha subito modifiche naturali ed artificiali.

L'operatore, quindi, si è trovato a dover riconoscere un territorio dove le “tracce” dell'aspetto del documento storico sono quasi scomparse.

Un aiuto importante al posizionamento ed al riconoscimento di strutture naturali od artificiali sopravvissute al tempo è dato dal confronto dello sfondo cartografico georeferenziato alla medesima scala del documento storico originale, prima della georeferenziazione. Il concetto potrebbe sembrare semplice ma la sua soluzione non risulta così immediata. Nel caso di una foto storica la scala può essere definita attraverso metodi alternativi: il rapporto tra la quota e la focale della camera di ripresa, il confronto tra la cartografia di riferimento e la foto oppure il confronto con un oggetto noto. Nel caso delle foto RAF, il cui scopo principale era la riproduzione stereoscopica della superficie del terreno, la ripresa era quanto più possibile ortogonale, pur nelle precarie condizioni di ripresa dato il contesto bellico; quindi si può, con relativa sicurezza, applicare il metodo del rapporto tra la quota e la focale per ricavare la scala media del fotogramma.



Figura 6 – Esempio di Data strip.

I dati che servono per questo calcolo possono essere ricavati dalla fascia presente nei fotogrammi detta “Data strip” (fig.6); in questo esempio, tratto da una foto RAF del 1944, si evince tra l’altro, che la focale della fotocamera è 20” (F/20”) e che la quota assoluta è 22.000 piedi. Procedendo si trasformano in metri la focale (focale \* 0.0254) e la quota di volo (quota \* 0.3048), successivamente si stima l’elevazione media del terreno dalla cartografia di riferimento, in questo caso circa 34 metri.

La scala media di un fotogramma è il rapporto fra la distanza di due punti sul fotogramma  $df$  e la loro distanza sul terreno  $dt$ ; questo rapporto equivale al rapporto tra la distanza focale dell’obiettivo della fotocamera  $f$  e la quota relativa (quota di volo-quota terreno)  $Q$ :

$$df/dt = f/Q$$

Quindi la scala del fotogramma ( $1/x$ ) si ottiene con la seguente proporzione:

$$1 : x = f : Q$$

$$x = 6671,6 * 1 / 0,508$$

quindi la scala media del fotogramma dell’esempio risulta di circa 1:13.100 (fig.7)

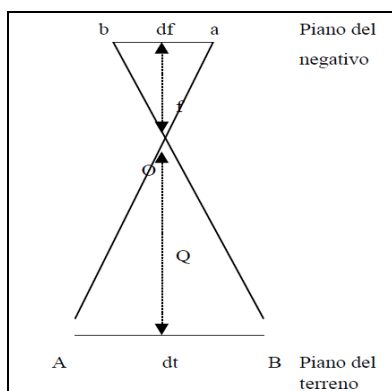


Figura 7 – Schema del rapporto tra focale e quota di volo.

Calcolata in questo modo la scala del fotogramma si cerca di identificare l’area sulla cartografia di riferimento portata alla medesima scala. Si procede ad un primo, grossolano, posizionamento dell’immagine portandola a sovrapporsi all’area identificata (*fit to display*); si ruota l’immagine al

fine di allineare le forme morfologiche e quindi si passa alla vera e propria scelta dei punti omologhi: con lo strumento “*Add control points*” si seleziona un punto sull’immagine ed il corrispondente sulla cartografia, ripetendo l’operazione per un numero sufficiente di punti in modo da ottenere una buona corrispondenza di tutta l’immagine. L’operazione termina di solito con la selezione di almeno 12 – 16 punti distribuiti con una buona uniformità sulla foto ma scelti in modo da evitare le aree maggiormente deformate poste ai margini. Queste operazioni portano ad un adattamento dell’immagine alla cartografia mantenendo il più possibile immutati i rapporti di dimensione. Al termine si salva un file (*world file*) di georeferenziazione che permetterà di riposizionare l’immagine nello spazio; si è scelto di salvare regolarmente il *world file* (*tfw*), anziché un creare una nuova immagine *raster* in formato *geotiff* contenente i riferimenti spaziali e del sistema di riferimento, per ampliare le possibilità di interscambio dei dati. Sono inoltre sempre stati salvati i punti di controllo utilizzati, per permettere una revisione a posteriori del lavoro.

### **Problemi di mosaicatura**

La georeferenziazione di documenti in formato *raster* (foto o rappresentazioni del territorio) di norma sfocia in una mosaicatura dei singoli documenti per costruire un continuo territoriale utilizzabile per il confronto con altre basi dati. Nel caso dei documenti storici lo stato del documento rasterizzato o i metodi imprecisi di produzione dell’immagine originale impediscono, in molti casi, una georeferenziazione sufficientemente precisa che permetta una mosaicatura soddisfacente. In questi casi per sfruttare il contenuto informativo del documento storico si utilizza la tecnica del “fotoindice” nato specificamente per la consultabilità delle strisciate stereoscopiche delle foto aeree, ma per analogia estese a tutte quelle situazioni che non permettono altro sistema. Durante la georeferenziazione del documento storico l’operatore, una volta posizionata l’immagine, traccia, su uno strato vettoriale poligonale, una “*box*” che la contiene precisamente; quindi compila i campi della tabella corrispondente alla geometria creata con i metadati di riferimento. Al termine delle operazioni si otterranno due prodotti cartografici: una serie di immagini georiferite, ed uno strato poligonale collegato. Questo risultato permette di navigare attraverso applicazioni GIS (*desktop o web*) lo sfondo cartografico con sovrapposto lo strato del fotoindice quindi selezionata l’area di interesse, interrogando il fotoindice si può visualizzare sovrapposto al territorio l’immagine georeferenzata del documento scelto.

Questo sistema è molto utile nelle applicazioni cartografiche web che, di norma, sono dotate di pochi strumenti per modificare l’ordine o il metodo di visualizzazione degli strati cartografici, oltre al vantaggio di caricare immagini *raster* (di solito impegnative dal punto di vista delle risorse) solo quando necessario.

Le foto della RAF non sono state mosaicate a causa della natura stessa della foto, che come è stato accennato in precedenza, presenta una quota non sempre costante, quindi una variabilità di scala a seconda delle strisciate; inoltre la non ortogonalità della foto, specialmente in territori montani, rende molto difficile ed onerosa la mosaicatura. Per la fruizione del prodotto sono stati pensati due sistemi di consultazione: un *Webgis* che permette la navigazione e l’interrogazione del foto indice con la possibilità di visualizzare l’immagine collegata all’area selezionata, ed un sistema integrato nel portale geografico regionale dove apprezzare il mutare del territorio visualizzando l’intero patrimonio di immagini aeree e satellitari storiche (tra cui anche le foto RAF del 1943/45), agendo su un controllo temporale.

Un caso in cui invece è stato possibile procedere alla mosaicatura è stato quello della cartografia preunitaria, che dopo essere stata georiferita è stata mosaicata in un unico continuum territoriale sulla regione e poi “ritagliata” in base ai tagli in scala 1:50.000, per creare dei fogli con il medesimo taglio della cartografia moderna. La mosaicatura ha presentato una serie di problemi, che sono stati risolti con aggiustamenti lungo il confine tra carte adiacenti. Il tematismo era piuttosto omogeneo a causa della natura stessa della carta, che derivava da una generalizzazione omogenea effettuata dall’istituto cartografico austriaco alla sua pubblicazione. I problemi geometrici di attacco che si sono presentati erano derivati dalle deformazioni generate sia dal tempo che dalla



georeferenziazione stessa; la soluzione di questi problemi è stata effettuata con aggiustamenti cartografici che hanno modificato leggermente la forma degli oggetti, in modo che gli estremi di un oggetto tagliato dal bordo della carta potessero combaciare. In alcuni casi è stata riscritta o sfoltita la toponomastica che risultava doppia o sfalsata dopo l'attacco delle carte.

### **Problemi di vettorializzazione**

Vettorializzare una cartografia storica, estraendone i diversi livelli informativi e associandoli a informazioni alfanumeriche, permette di arricchire enormemente le possibilità di consultazione, ad esempio potendo ricercare un toponimo o una tipologia di elementi. Tale operazione, oltre che un notevole impiego di tempo, richiede spesso di interpretare il documento antico, per attribuire i segni a determinate categorie, specie qualora la legenda non sia chiaramente delineata, o sia necessario far corrispondere delle categorie 'storiche' con quelle attualmente in uso, per poter effettuare dei confronti. Un esempio importante di questo sforzo ermeneutico è quello dell'estrazione delle categorie dell'uso del suolo dalla carta storica preunitaria in cui per una corretta interpretazione si è dovuto ricorrere anche a fonti ancillari, le cartografie acquerellate dell'Istituto cartografico austriaco. Nonostante le quali sono rimasti comunque dei casi dubbi, come l'interpretazione delle aree prive di simbolo nelle zone montane, che ha costretto ad una forzatura interpretativa, riunendo in un'unica classe le voci dei prati, dei cespuglieti e degli arbusteti, in quanto aree non contrassegnate dal simbolo indicante il bosco. Questo tipo di aggregazione non ha potuto tener conto delle eventuali aree coltivate, sicuramente presenti anche in montagna, che non sono state rilevate dai topografi austriaci. In questo senso un'importante occasione di verifica potrebbe essere offerta dal confronto con i dati del coevo Catasto Ducale, realizzato fra il 1809 e il 1825. Se già questo tipo di vettorializzazione richiede un forte investimento di risorse, si deve tener conto che, come delineato in premessa, la georeferenziazione di documenti aerofotografici e cartografici storici avrà sempre un margine di errore più o meno consistente, e quindi solo con una vettorializzazione che posizioni gli elementi ritenuti significativi su una cartografia attuale si può giungere ad una piena confrontabilità automatica, oltre che alla possibilità di interrogare i singoli elementi.

Una procedura accurata di vettorializzazione su base cartografica attuale è ancor più impegnativa della precedente, perché comporta un continuo lavoro di confronto fra la fonte di informazioni e la base su cui vanno riportate, senza poter procedere ad un semplice 'ripasso' delle linee esistenti sulla fonte. Essa è stata operata in alcuni casi particolari di studio, come ad esempio per le principali informazioni contenute nel settore bolognese del catasto Gregoriano. Con il progetto «Memoria dei siti», tra il 1990 e il 1997, sono infatti state riportate sulla Carta Tecnica Regionale, prima in formato cartaceo e quindi vettoriale, tutte le informazioni riguardanti i confini delle comunità parrocchiali, la viabilità esistente all'inizio dell'Ottocento, la localizzazione dei centri abitati, gli insediamenti sparsi, gli andamenti dei corsi d'acqua principali e minori, dei canali e degli scolli; per quanto riguarda strade e fiumi/torrenti, lavorando sulla base cartografica originale e su quella attuale, è stato possibile distinguere i tratti tuttora vitali da quelli scomparsi.

Per la carta della pianura bolognese redatta da Andrea Chiesa si è proceduto ad una completa vettorializzazione, si è cioè ridisegnato sulla cartografia attuale ogni singolo elemento della carta storica, per posizionarlo con la maggiore precisione possibile, distinguendo fra gli elementi conservati nel paesaggio attuale e quelli scomparsi. Ad ogni elemento sono state quindi associate le informazioni testuali ad esso relative, in modo che sia possibile fare ricerche e classificazioni sulla base dei nomi e della tipologia. Per fare un unico esempio, all'interno dei 16.000 insediamenti sparsi sul territorio, ciascuno individuato da un simbolo nella cartografia del Chiesa, a cui è stato fatto corrispondere un punto sulla carta, circa mille siti dispongono di informazioni testuali, che ne possono indicare la proprietà (ed è quindi possibile rintracciare all'interno del nostro database i possedimenti di ogni famiglia) e/o la tipologia, che ha permesso di riconoscere diverse macrocategorie (edifici sacri, pubblici, privati) e la destinazione d'uso (edifici residenziali, come case, casini, palazzi, castelli e collegi; legati direttamente alla produzione agricola, come barchesse, casoni, cascine, cure, caselle, mense; produttivi in senso più ampio, come mulini, fornaci, cartiere,

magazzini ed osterie). Anche sotto quest'ultimo aspetto è quindi possibile individuare in modo estremamente facile e rapido tutti i mulini, o i palazzi senatori, ecc. Anche nel caso della carta del Chiesa, come per la cartografia preunitaria, ci si è trovati di fronte a problemi di classificazione degli elementi grafici, come ad esempio le rappresentazioni dei percorsi stradali, che oscillavano da uno standard di una doppia linea puntinata a una linea puntinata semplice, che sembra indicare alcuni tratti minori, a una doppia linea con una maggiore distanza fra le due serie di punti, in cui è stata riconosciuta l'indicazione di un viale di accesso ad una villa (fig. 8).

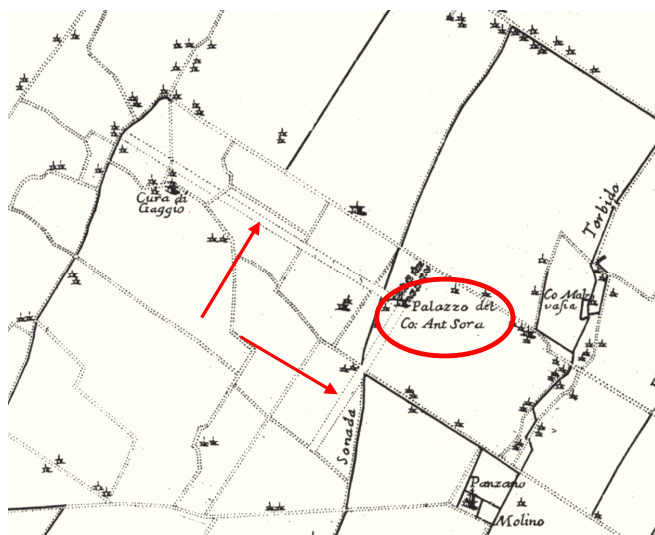


Figura 8 – Particolare della carta di A. Chiesa a N-W di Castelfranco.

Talora i problemi interpretativi posti dalla carta del Chiesa erano relativi anche allo scioglimento delle abbreviazioni, come ad esempio l'indicazione 'B.', normalmente accompagnata da un epiteto legato al nome di una famiglia (B. Ghisilieri, Zambeccari, Panfilia...) o collegata ad un luogo o elemento del paesaggio (B. della Pieve, del Canalazzo, di Bagno...), che si può sciogliere, essendo una volta indicato per intero, con la parola 'Botta/botte', che è tuttavia di dubbia interpretazione.

Dal punto di vista metodologico quindi si può osservare come il procedimento di vettorializzazione ampli enormemente le possibilità di utilizzo di una cartografia storica, ma introduca un ulteriore livello interpretativo e soggettivo, sia nell'accuratezza del disegno che nell'interpretazione e categorizzazione dei segni, che va a sovrapporsi a quello del cartografo nell'atto dell'estensione della carta originale. Si potrebbe dire quindi che una carta storica vettorializzata sia "un'interpretazione di un'interpretazione", e ciò va sempre tenuto presente nel suo utilizzo.

### Sviluppi futuri

Obiettivo principale del progetto, allo stato attuale, è di giungere ad una piattaforma di consultazione cartografica online del patrimonio che è stato georeferenziato. Tale piattaforma è in fase di definizione sulla scorta dell'ampia esperienza sviluppata in questo settore dal Servizio Sviluppo Amministrazione Digitale e Sistemi Informativi Geografici. Il WebGIS di navigazione ed interrogazione del patrimonio storico, sarà sviluppato con gli strumenti già in possesso della Regione Emilia-Romagna e sarà basato sul Content Management System (CMS) Moka (un gestore di contenuti cartografici pubblicati via WEB) che permette di integrare dati cartografici complessi in modo facile ed intuitivo, navigabili con dei semplici tool di posizionamento cartografico ai quali l'utenza di tali sistemi è ormai ampiamente abituata.

Sarà così possibile un immediato confronto fra documenti afferenti a periodi diversi, sovrapponibili e leggibili 'in trasparenza'. La piattaforma dovrà essere basata sulla massima facilità di utilizzo ed interoperabilità, in modo da garantire un uso il più possibile ampio e diffuso anche da parte di utenti non di settore, ad esempio, in primis, di tecnici della pianificazione e dei beni culturali.

In prospettiva il sempre più ampio diffondersi di sistemi di visualizzazione in tre dimensioni costituisce un'opportunità indubbiamente da cogliere per presentare in modo efficace l'evolversi delle strutture del paesaggio, in primo luogo sovrapponendo foto e carte storiche ai modelli tridimensionali del terreno attuali, quando non sia possibile estrarre dei modelli ad esse coevi, ad esempio ricavandoli dalle quote presenti nelle medesime cartografie.

In vista di tale obiettivo, ad esempio, sono state acquisite grazie alla collaborazione con l'Aerofototeca Nazionale più di 600 foto della RAF appartenenti a strisciate scattate lungo la via Emilia, e che coprono quasi interamente il percorso dell'antica via consolare. Pur risalendo a poco più sessant'anni fa, tali foto restituiscono un'immagine completamente diversa da quella attuale, in cui gli spazi a ridosso della strada sono quasi totalmente saturati. Sarà quindi possibile, nelle nostre intenzioni, effettuare un "volo virtuale" sulla via Emilia in cui le campagne ancora si affacciavano sulla strada, incrociando con essa i loro cardini centuriali, e le città avevano ancora forme e confini riconoscibili nella loro storicità di perimetri medievali e prime espansioni extraurbane.

### **Bibliografia**

Barbieri A. (1975) - *L'antichissima terra di Sant'Agata Bolognese* - Tamari, Bologna, p. 50

Venturi S. (1992) a cura di - *La carta della pianura bolognese di Andrea Chiesa (1740-1742)* - Casalecchio di Reno, Bologna

Di COCCO I., Franceschelli C., Giorgi E. (2002) - *Rilievo tradizionale e moderne metodologie. Il caso dell'Insula del centenario a Pompei*, in *Geomatica per l'ambiente, il territorio e il patrimonio culturale (Perugia 5-8 novembre 2002)* - Atti della Sesta Conferenza Nazionale ASITA, Varese, vol. II, p. 1046

Garberi M.L., Campiani E., Vigilante E. (2007) - *Il database dell'Uso del Suolo "Storico" della Regione Emilia-Romagna derivato dalla cartografia preunitaria (1828 -1853)* - Atti 11 ° Conferenza Nazionale ASITA, Torino, 6-9 Novembre 2007, Vol. II, 1169-1174

Campagnoli P., Di Cocco I., Giorgi E. (2009) - *Popolamento e assetto del territorio in età romana nella valle dell'Esino*, in *Fabriano e l'area appenninica dell'alta valle dell'Esino dall'età del bronzo alla romanizzazione. L'identità culturale di un territorio fra Adriatico e Tirreno* - Atti del Convegno di studi di archeologia (Fabriano (AN) Complesso di San Domenico 19-20-21 maggio 2006), a cura di Mara Silvestrini, Tommaso Sabbatini, Ancona, p. 256

Di Cocco I. (2009) - *L'evoluzione ambientale della pianura bolognese: il contributo dello studio della carta di Andrea Chiesa (1740-42)* - in *Sistemi centuriali e opere di assetto agrario tra età romana e primo medioevo. Aspetti metodologici, ricostruttivi ed interpretativi*. Atti del Convegno internazionale, Borgoricco (Padova) – Lugo (Ravenna), 10-12 settembre 2009 c.s.

Ortalli J. (2010) - *La centuriazione "arrotondata"*, in *Centuriazione e Territorio. Progettazione ed uso dell'ambiente in epoca romana tra Modena e Bologna* - a cura di Diana Neri, Cristina Sanguineti, Castelfranco, pp. 130-132

Colò L., Di Cocco I., Garberi M.L., Belvederi G. (2011) - *MOKArtografia storica: un web-gis per la cartografia prima dell'unità d'Italia* - Atti 15° Conferenza Nazionale ASITA, 15 – 18 novembre 2011, Reggio di Colorno, c.s.



## Monitoraggio di strutture con tecnologia GNSS

Luigi Colombo (\*), Barbara Marana (\*), Diego Galbusera (\*\*)

(\*) Università di Bergamo, DPT, Viale Marconi 5, 24044 Dalmine (BG), [luigi.colombo@unibg.it](mailto:luigi.colombo@unibg.it)

(\*\*) Indagini Strutturali, Via G. De Ruggero 5, 00142 Roma, [diego.galbusera@indaginistrutturali.it](mailto:diego.galbusera@indaginistrutturali.it)

### Riassunto

Il mantenimento in sicurezza delle costruzioni rappresenta una problematica di sempre maggiore rilevanza, che riguarda gli edifici antichi, quelli moderni, soprattutto se molto sviluppati in altezza, i manufatti di contenimento, i viadotti e le grandi infrastrutture in genere.

Fatto salvo che nulla può essere ritenuto perfettamente statico, la *sensibilità* strutturale di ogni opera è strettamente correlata alla complessità progettuale e costruttiva, alle dimensioni, allo stato di conservazione, alla durabilità dei materiali e al contesto geologico-ambientale.

Tutti questi parametri concorrono a produrre situazioni di pericolosità latente, sia nell'ordinarietà che nell'emergenza, e vanno pertanto tenuti sotto controllo durante l'intero ciclo di vita dell'opera.

La conservazione di un adeguato livello di *sicurezza* funzionale rappresenta dunque la motivazione principale del processo di monitoraggio, che nasce, di fatto, con l'opera stessa in quanto fisiologicamente connesso ai problemi strutturali-materici che il progetto, la realizzazione e, infine, la fase di esercizio mettono in evidenza.

All'interno di questo scenario tematico, il lavoro analizza l'applicabilità della più recente tecnologia satellitare GNSS a elevata frequenza di campionamento (fino a 50 Hz) al controllo di deformazioni e spostamenti (quasi stazionari e/o dinamici) di strutture e infrastrutture.

La tecnologia GNSS è infatti alla base della stazione (Master) di monitoraggio, attivata di recente presso i laboratori di Ingegneria dell'Università di Bergamo, in grado di rilevare e gestire nel tempo, in modalità wireless interattiva, la posizione di ricevitori di controllo (Rover), ubicati su strutture poste in un intorno di qualche decina di chilometri.

La stazione sarà impiegata, nei prossimi mesi, per il monitoraggio dinamico del monumento industriale, simbolo della città di Dalmine: un'enorme struttura metallica a tubo (realizzata dalla Dalmine S.p.A., ora Tenaris) che dal 1936 fa bella mostra di sé al centro della piazza del Comune.

### Abstract

Building safety maintenance is an ever increasing problem which involves both ancient and modern constructions, mainly if very high, defence artefacts, viaducts and wide infrastructures.

Since nothing can be considered perfectly static, each building structural sensibility is strictly connected to its planning and construction complexity, dimensions, preservation, material durability and geological-environmental context.

All these parameters represent a source of latent danger, both in ordinary and emergency circumstances, and therefore need to be kept under control for building whole life-cycle.

The conservation of a proper security level is therefore the main aim of the monitoring process which is related to a building from the beginning, due to all structural-material problems stressed in design, construction and operation.

In this context, the work analyses the application of the most recent GNSS satellite technology (with high frequency sampling up to 50 Hz) to structure and infrastructure control of deformations and displacements (static and/or dynamic).

The GNSS technology is, as a matter of fact, the core of the monitoring station (Master), recently started up at the Geomatic Lab of the University of Bergamo, which can detect and manage in time,

through an interactive wireless way, the position of control receivers (Rover) placed over structures within some ten kilometres.

This station will be employed, in the next months, for a dynamic long-lasting monitoring of the industrial monument, symbol of the city of Dalmine: a huge all-metal pipe structure (manufactured by Dalmine Spa, or Tenaris) which, since 1936, has been towering above the city square centre.

### **Il monitoraggio**

L'avvento di strumentazioni geomatiche automatizzate e lo sviluppo di software dedicato, ha reso possibile, da qualche tempo, l'impiego di tecnologie *senza contatto* in operazioni di monitoraggio strutturale e ambientale, temporaneo o permanente, a integrazione o sostituzione delle classiche procedure variometriche, *per contatto*, di impiego più tradizionale.

La sequenza operativa utile per un corretto approccio geomatico al processo di monitoraggio potrebbe essere la seguente:

- acquisizione delle informazioni generali sulla statica dell'opera;
- recupero della conoscenza riguardante le caratteristiche di deformabilità e le direzioni più significative dello spostamento;
- individuazione di punti di *controllo* che possano caratterizzare il comportamento strutturale, poiché l'effetto deformativo vi assume significati importanti e complessivi, e dei quali si determineranno gli spostamenti;
- definizione del raggio dell'intorno utile per la misura di controllo;
- scelta della procedura e della tecnologia in grado di fornire un'adeguata precisione assoluta e relativa (*precisione relativa* = *precisione assoluta* / *raggio dell'intorno di interesse*) e del sistema di riferimento per la lettura delle posizioni in gioco (coordinate).
- valutazione delle soglie ammissibili di rischio e programmazione conseguente dei sistemi di allarme.

La procedura descritta si potrà poi adattare di volta in volta alla specifica tipologia e all'importanza dell'opera.

Si ricorda che i punti di *controllo* della struttura possono subire, per effetto dei carichi in gioco, spostamenti spaziali sia *assoluti* (come in un corpo rigido), rispetto a punti fissi di *riferimento* posti all'esterno della zona di influenza del fenomeno in atto, sia *relativi* (come in un corpo deformabile, più o meno elastico), rispetto a punti della struttura stessa.

In genere, sono presenti entrambi i tipi di spostamento e risultano più interessanti gli uni o gli altri, in funzione delle diverse situazioni di esercizio.

Inoltre, è possibile che gli spostamenti si manifestino in tempi brevi (e generalmente con andamento quasi periodico), oppure in intervalli più ampi: nel primo caso si parla di spostamenti *dinamici* o continui, nel secondo di spostamenti *quasi stazionari* o discreti.

Nel caso di controllo dinamico (azione del vento, vibrazioni indotte da traffico veicolare pesante o macchinari, scuotimenti sismici, ecc.), si deve operare a intervalli temporali molti ridotti e quindi è necessario disporre di sensori real-time (frequenza in acquisizione superiore a 15÷20 Hz, e ora fino a 50 Hz) che consentano di seguire con continuità lo spostamento; si costruiscono poi modelli di analisi in quattro dimensioni: x, y, z, tempo. La misura può essere eseguita con sensori classici, come gli accelerometri, integrandoli con ricevitori GNSS (Global Navigation Satellite Systems) a elevato campionamento, collegati via antenna alle costellazioni satellitari (GPS, GLONASS).

Nel controllo quasi stazionario (pseudo-statico) gli spostamenti si manifestano, invece, in periodi più lunghi, e quindi le operazioni di misura possono essere eseguite, con strumentazione anche a basso campionamento (1 Hz), in condizioni di *temporanea stabilità* del manufatto; si costruiscono in questo caso modelli di analisi in tre dimensioni: x, y, z.

Si può procedere nei due casi sia in modalità real-time (RTK) sia in post-processing.

La scelta della strumentazione da utilizzare per il controllo è subordinata alla necessità di determinare gli spostamenti e le deformazioni con una precisione superiore all'entità dei valori



prevedibili: precisioni troppo alte permettono di seguire bene i fenomeni ma la strumentazione è più costosa e le operazioni risultano lunghe e complesse; viceversa, precisioni troppo basse finiscono col mascherare aspetti geometrici anche importanti del fenomeno indagato.

Le tecnologie di misura senza contatto più recenti consentono di sviluppare il controllo in modo anche automatico, con esecuzione telematica a distanza; al superamento di soglie di pericolosità prefissate, è programmabile l'invio di messaggi di posta elettronica o SMS di allerta all'utenza.

Nonostante la grande diffusione raggiunta in anni recenti dalla tecnologia satellitare, fra quelle senza contatto, grazie soprattutto al vantaggio della *non richiesta inter-visibilità fra punti di misura* (cosa che ha profondamente trasformato il settore del rilevamento), il suo impiego nella determinazione di spostamenti risulta ancora limitato. La motivazione sembra legata sia ai condizionamenti tecnologici al raggiungimento di precisioni sub-millimetriche, spesso richieste nel controllo strutturale, sia alle limitazioni d'impiego per la presenza di zone d'ombra nella ricezione del segnale, prodotte talvolta dalla stessa struttura sotto controllo.

Un elemento importante per la qualità del posizionamento satellitare è costituito dal numero di satelliti ricevibili dal sensore e dalla loro geometria nello spazio, nel senso che quanti più satelliti sono tracciati e ottimale è il loro assetto, tanto migliore risulta la precisione della determinazione spaziale.

In alcune applicazioni, come nel caso dei centri urbani, nell'ingegneria delle costruzioni, nei tunnel o in opere sotterranee e all'interno di edifici, il segnale satellitare può essere insufficiente o assente. In questi casi estremi, la numerosità e la geometria della costellazione satellitare tracciata può essere significativamente aumentata e migliorata mediante aggiunta di altri segnali (analoghi a quelli GNSS) trasmessi però da pseudo-satelliti localizzati a terra (detti *pseudolites*); queste integrazioni possono arrivare addirittura a costituire sistemi di posizionamento sostitutivi di quello convenzionale in applicazioni nell'interno di opere o in galleria.

### **La tecnologia GNSS**

Nonostante qualche limitazione d'uso, come evidenziato, la tecnologia GNSS rappresenta una soluzione di interessante prospettiva anche nell'ambito del monitoraggio strutturale, per esempio già ai fini della verifica di stabilità nel tempo, su aree estese, della posizione dei *punti di riferimento*, rispetto ai quali si determinano gli spostamenti *assoluti* di un'opera.

La tecnologia GNSS consente la determinazione della posizione spaziale di punti di controllo in modalità sia statica sia dinamica: per la seconda tipologia, il mercato offre, da qualche tempo, un ricevitore progettato appositamente per operazioni di monitoraggio continuo.

Il ricevitore, di Leica Geosystems, è denominato GMX902 (sola costellazione GPS), con una versione più estesa (GPS più GLONASS) dalla sigla GMX902 GG (figura 1) e quella recentissima GNSS a 50 Hz (GPS con L5 più GLONASS e Galileo).

Si tratta di un sensore satellitare in grado di monitorare, 24 ore su 24, la posizione di punti di controllo su aree *sensibili* o infrastrutture, cioè versanti in frana, ponti, dighe, edifici, determinandone con continuità nel tempo il vettore spaziale di spostamento.

Il dispositivo, a doppia frequenza, acquisisce dati di posizione con campionamento a 20/50 Hz e fornisce una precisione *teorica* di 20 mm (con il codice) e di 0.2 mm, operando con la fase della portante; è garantita un'eccellente qualità operativa (attenuazione dei fenomeni di errore dovuti al multipath, basso noise di ricezione, ecc.) e il posizionamento real-time anche in presenza del movimento della struttura.

Il peso contenuto (800 grammi per il dispositivo, più l'antenna) e l'elevata resistenza all'azione degli agenti atmosferici lo rendono adatto in tutte le condizioni operative, su strutture estese, su quelle sviluppate in altezza e nei casi in cui la strumentazione debba risultare piuttosto compatta.



Figura 1 – Sensore Leica GG a 20 Hz.

La trasmissione dei dati, fra le posizioni controllate (dove sono installate le cosiddette Rover) e la stazione Master di riferimento del sistema (di posizione spaziale nota) e viceversa, avviene generalmente in radio frequenza mediante comunicazione wireless del tipo Radio Modem, oppure GPRS, supportato dalla rete cellulare GSM, o WLAN (Wireless Local Area Network).

L'apparato satellitare GMX902 può anche essere connesso nell'uso a eventuali sensori accelerometrici e meteo.

### **La stazione Master dell'Università di Bergamo**

La stazione Master per il monitoraggio di strutture, attiva presso i laboratori della facoltà di Ingegneria dell'Università di Bergamo, utilizza la tecnologia differenziale GNSS-RTK (Real Time Kinematic) per gestire interattivamente la trasmissione delle correzioni di posizione verso i ricevitori locali (Rover), cioè le antenne poste sopra punti da controllare.

Le strutture e infrastrutture che possono essere interessate dal monitoraggio debbono essere collocate all'interno di un'area con raggio pari a qualche decina di chilometri rispetto alla stazione Master.

Le comunicazioni fra le diverse unità operative, inerenti alla misura e alle correzioni di posizione, è gestita tramite connessione wireless di tipo WLAN.

La precisione nel posizionamento dei punti di controllo, che è influenzata da parametri sistematici di tipo ambientale e varia con legge inversa alla distanza Rover-Master, si colloca su livelli sub-centimetrici, mentre la soglia di precisione nella tracciabilità del vettore spaziale spostamento-deformazione (dato *variazionale*) è quella del millimetro.

### **Il progetto**

Nella fase di progetto e implementazione di un sistema di monitoraggio satellitare occorre considerare i seguenti fattori:

- distanza e inter visibilità tra la stazione Master e le Rover di controllo: la precisione di posizionamento delle Rover decresce con la distanza;
- collocazione dei vari componenti tecnologici delle stazioni;
- verifica di possibili effetti in grado di disturbare la trasmissione dei dati (fenomeni di *multipath*, presenza di ostacoli, ecc.);
- valutazione della copertura satellitare.

La distanza tra posizione Master e Rover rappresentava una possibile limitazione all'applicazione della comunicazione wireless fino a qualche anno fa, poiché le connessioni avvenivano, in genere, via radio-modem ed erano pertanto limitate a un range di pochissimi chilometri: si doveva ricorrere altrimenti alle più lente e onerose procedure GPRS, supportate dalla rete di telefonia GSM.

L'evoluzione tecnologica del settore wireless ha portato in anni recenti a nuovi sistemi WLAN che

permettono di coprire distanze fino ad alcune decine di chilometri. In questi casi, la scelta della posizione dell'antenna (wlan) di trasmissione dei dati per le diverse stazioni deve garantire la reciproca inter visibilità.

Nel caso della stazione Master di UniBg, l'antenna di ricezione satellitare (una normale antenna GNSS) e la sua wireless di comunicazione sono collocate entrambe sul tetto a terrazzo dell'edificio che ospita i laboratori di facoltà e risultano opportunamente interfacciate con la sala metrologica, posta a piano terra, che accoglie invece la strumentazione hardware e software: armadietto protettivo con il ricevitore, server di rete, accessori, ecc. (figura 2, figura 3).

L'antenna wlan è gestita da un adattatore con funzione di modem (ESCG) che viene collegato al server preposto al governo delle operazioni; l'antenna GNSS di ricezione è invece connessa al sensore di acquisizione (ricevitore satellitare) e a un apparato (MOXA) di conversione del segnale da RS232 a rete locale (LAN).

L'apparato ESCG deve essere posto a pochi metri di distanza dall'antenna wireless, per non produrre indebolimenti del segnale; si è pertanto installato un armadietto "elettrico" appena sotto il solaio di copertura dei laboratori, in stretta adiacenza con l'antenna soprastante.



*Figura 2 – Antenna di ricezione GNSS (a sinistra) e di comunicazione Wlan (a destra).*



*Figura 3 – Server del sistema e ricevitore satellitare della stazione Master.*

La stazione Master risulta *efficiente* se la posizione scelta per l'antenna GNSS, le cui coordinate nel sistema geodetico di riferimento nazionale sono state in questo caso pre-determinate con precisione sub-centimetrica mediante la rete di ricevitori SmartNet ItalPos di Leica, garantisce un'opportuna copertura satellitare sull'intera giornata (figura 4).

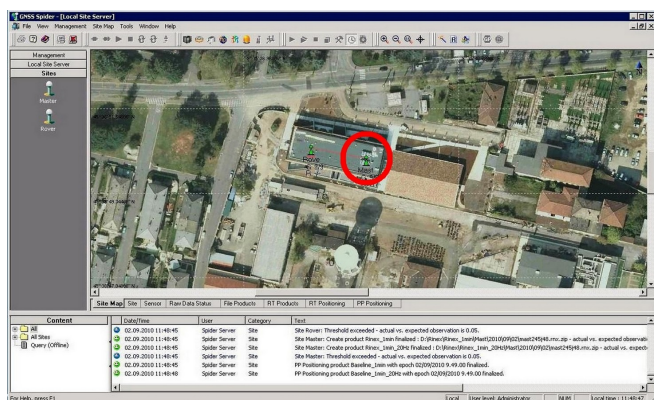


*Figura 4 – L’antenna satellitare Master e il contesto circostante (cartografia da Google Earth).*

Nel caso della stazione di Dalmine questo requisito è ben soddisfatto: si è, infatti, verificato che la copertura, anche nei momenti di minore ricezione, è costituita da almeno 7÷8 satelliti GPS più 4÷6 della costellazione GLONASS.

## Componenti tecnologici

L'intero sistema di monitoraggio può essere schematizzato in tre sottosistemi:

- la stazione Master;
- le stazioni Rover;
- il software per la gestione della misura e per l'analisi del dato.

### Le stazioni Master e Rover

L'antenna GNSS della stazione Master riceve i segnali satellitari (attualmente con frequenza massima di 20 Hz) e mediante cavo li invia al ricevitore che è interfacciato serialmente a un PC, con funzione di server.

Anche nel caso di una stazione Rover (figura 5), il ciclo inizia dalla ricezione dei segnali attraverso un'antenna GNSS, posta sul punto da controllare, e dal loro invio al ricevitore satellitare. Il segnale in uscita dal ricevitore passa poi a un convertitore e infine a un adattatore di rete che utilizza un'antenna WLAN per la trasmissione a quella corrispondente della stazione Master.

Gli schemi in figura 6 (sopra Master e sotto Rover) visualizzano il collegamento, di tipo WLAN, utilizzato per la trasmissione dei dati di misura fra le due unità.

## *Il software*

Il software di supporto al sistema di monitoraggio della stazione Master è GNSS Spider di Leica. Questo pacchetto può controllare e gestire, in modo centralizzato, una o più stazioni Master, consentire lo scambio di dati fra Master e Rover e l'interrogazione del server di sistema da postazione remota.

Una delle potenzialità del software è la capacità di registrare, sia in forma grafica sia in modo tabellare, le informazioni concernenti un prefissato intervallo temporale (da stabilire nella fase di settaggio).



Figura 5 – Unità Rover, con l'antenna GNSS e l'antenna wlan.

Il software supporta, inoltre, la gestione dei vari livelli di sicurezza attraverso l'introduzione di opportune soglie di attenzione:

- *la soglia di allertamento* è un livello di sicurezza che segnala quando la situazione si discosti dal normale andamento;
- *la soglia di pre-allarme* segue l'allertamento e può essere considerata come la prima fase di pericolo; in questo caso, è opportuno prestare attenzione ed eseguire un sopralluogo per stabilire se e come intervenire;
- *la soglia di allarme*: questo punto è senz'altro il più critico; infatti, una volta verificatosi, si deve immediatamente intervenire per evitare conseguenze gravi per la stabilità della struttura soggetta al controllo.

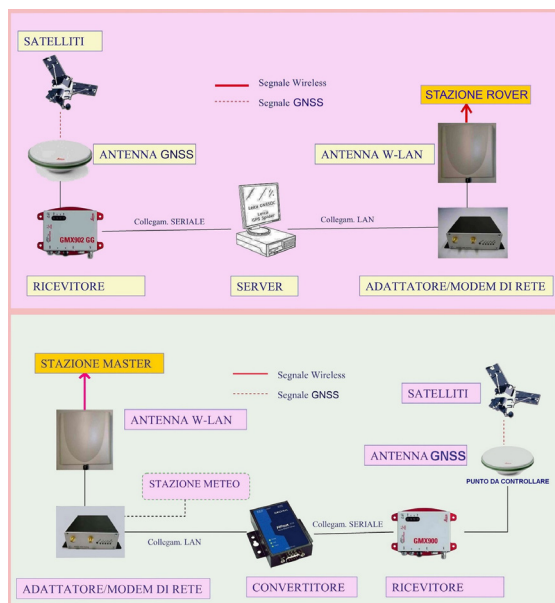


Figura 6 – La trasmissione dei dati dalla Master (sopra) e viceversa dalla Rover (sotto).

Le procedure software implementate sono costituite, oltre che dal pacchetto GNSS Spider, anche da altri software, come Leica GeoMoS e Leica GNSS QC, che consentono analisi diversificate dei dati e controlli sulle misure.

In particolare, GeoMoS opera attraverso i moduli Monitor e Analyzer. Monitor è il gestore in tempo reale dell'acquisizione e del controllo delle misure, dei messaggi di stato del sistema e dei cicli operativi. Analyzer è il modulo per l'analisi dei dati dedicato all'importazione ed esportazione, oltre che alla correzione e al post-processamento dei valori acquisiti. I dati di input e i risultati vengono poi visualizzati attraverso grafici e tabelle numeriche.

La connessione di differenti apparati di misura (per esempio, stazioni topografiche robotizzate, sistemi satellitari, sensori meteo, ecc.), è gestita da Leica Sensor Manager, che offre anche un'interfaccia utile per la configurazione dei sensori.

Leica GNSS QC costituisce, infine, un valido complemento applicativo e di approfondimento.

Questi software sono installati sul server della stazione Master e vi si può accedere anche a distanza, operando da client con procedure Internet di "remote desktop"; infatti, nasce spesso la necessità di verificare la situazione del monitoraggio o di eseguire interrogazioni da postazioni qualsiasi, diverse dalle Master.

### **Un'applicazione**

La stazione Master verrà ora utilizzata per un monitoraggio di eccezione: quello di una struttura metallica prodotta dalla Dalmine SpA, un gigantesco tubo, simbolo fascista dell'operosità industriale della città.

La struttura è alta ben 63 metri, pesa 7500 kg ed evidenzia da tempo segni diffusi di degrado sia all'interno che all'esterno (figura 7), prodotti da corrosione, vibrazioni, vento, ecc.

Nel corso di un recente intervento di conservazione straordinaria e messa in sicurezza dell'opera, si è deciso di attivare, in forma permanente, un'attività di controllo statico-dinamico attraverso un'unità Rover (Leica), collocata in sommità e in collegamento WLAN con la stazione Master di UniBg, integrata da dispositivi di misura termo-barometrica, anemometrica e accelerometrica.



*Figura 7 – La struttura metallica realizzata dalla Dalmine, con il suo basamento.*



### **Considerazioni e prospettive**

Lo sviluppo dei sistemi GNSS, tuttora in grande evidenza, sta portato all'introduzione di una serie di miglioramenti tecnologici che coinvolgono e coinvolgeranno tutti i *segmenti* del sistema satellitare, da quello spaziale, a quello di controllo e a quello dell'utenza; in particolare:

- il mantenimento, l'arricchimento e l'ampliamento delle attuali costellazioni satellitari; dal 2020 quattro costellazioni GNSS saranno pienamente operative (USA, Russia, Europa e Cina), così che almeno un centinaio di segnali saranno contemporaneamente ricevibili in ogni istante e in qualsiasi punto della Terra;
- la disponibilità di efemeridi (per la descrizione delle orbite dei satelliti) di elevata attendibilità metrica;
- la realizzazione di ricevitori sempre più veloci, ad altissima frequenza (100Hz?), versatili, compatti ed economici;
- il progressivo affinamento degli algoritmi di elaborazione delle coordinate, in particolare nel calcolo delle ambiguità di fase;
- l'evoluzione dei modelli matematici per la riduzione degli effetti sistematici presenti nelle osservazioni;
- il miglioramento continuo dei modelli di geoidi terrestri, sia globali sia locali, utili per l'informazione altimetrica.

Si deve considerare, altresì, che l'approccio metrologico è oggi orientato verso tecnologie di misura senza contatto, integrabili con altre più tradizionali (variometriche, ecc.) e caratterizzate da elevata automazione, trasferibilità telematica dei dati e governabilità da postazione remota.

In questo nuovo contesto tecnologico, i sistemi di controllo GNSS non potranno che assumere un ruolo operativo (statico-dinamico) sempre maggiore, sia per l'incremento preventivabile della precisione e del rating della tecnologia e per la sua semplicità d'uso, sia infine per la possibilità di realizzare operazioni (discrete o continue) di posizionamento tridimensionale ovunque, incluse aree urbane, spazi coperti e interni, per le valutazioni del rischio e la gestione dell'emergenza.

### **Ringraziamenti**

A Leica Geosystems Italia e a tutti i collaboratori del laboratorio di Tecnologie Geomatiche dell'Università di Bergamo.

### **Riferimenti bibliografici**

- Colombo L., Marana B. (2007). *La tecnologia GPS per il monitoraggio continuo di strutture*, Rivista dell'Agenzia del Territorio, 2: 3-10.
- Y. Kalkan, R. M. Alkan and S. Bilgi (2010). *Deformation Monitoring Studies at Atatürk Dam*. FIG Congress 2010, 11-16 April, Sydney (Australia).
- Dai L., Wang, J., Rizos, C., Han, S. (2001). *Pseudo-satellite applications in deformation monitoring*. GPS solutions, 3: 80-87.
- Figurski M., Galuszkiewicz M., Wrona M. (2009). *An investigation of using high rate GNSS data in structural monitoring process*. Bulletin of Geodesy and Geomatics, 1.
- Gikas, V., Sakellariou, M. (2008). *Horizontal deflection analysis of a large earthen dam by means of geodetic and geotechnical methods*. 13th FIG Symposium on Deformation Measurement and Analysis/4th IAC Symposium on Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering, 12-15 May, Lisbon (Portugal).



## **Un applicativo GIS 3D specializzato per l'individuazione, la gestione e la rappresentazione di ostacoli alla navigazione aerea**

Antonio Condorelli

GIS Design srl, Via Lorenzo Gemmellaro n°1, 95030 S. Agata Li Battiati (CT), Tel. 095 7254361  
Fax 095 2246282, e-mail [info@gisdesign.it](mailto:info@gisdesign.it), [antonio.condorelli@gisdesign.it](mailto:antonio.condorelli@gisdesign.it)

### **Riassunto**

La notevole evoluzione tecnologica che ha interessato negli ultimi anni i software GIS ha dato luogo a sviluppi di particolare interesse relativamente alla gestione ed all'analisi di dati tridimensionali. La disponibilità e la particolare efficacia di queste funzionalità 3D ha permesso l'implementazione di pacchetti applicativi specializzati orientati alla gestione di particolari tematiche operative i cui dati d'interesse devono necessariamente essere trattati ed analizzati, per propria natura ovvero per le finalità stesse cui è rivolta l'attività, con approccio tridimensionale.

È questo il caso dell'individuazione e della eventuale successiva gestione a livello territoriale di tutti gli elementi (edifici, alberi, pali, tralicci, antenne, etc.) che possano costituire un ostacolo alla navigazione aerea su un dato impianto aeroportuale: un ostacolo viene infatti individuato in funzione dell'eventuale sfioramento in quota rispetto ad alcune particolari superfici tridimensionali di vincolo, che vengono costruite secondo le vigenti normative internazionali ICAO con riferimento alle diverse piste aeroportuali.

Nella memoria, anche attraverso alcune esperienze maturate sul campo con riferimento ad un importante aeroporto italiano (Palermo), si presentano i principi fondamentali e le funzionalità primarie dell'applicativo ALBATROS, sviluppato come una estensione specialistica del software ArcGIS della ESRI, proprio per dare riscontro alle sopra descritte esigenze tipiche del gestore di impianti aeroportuali in materia di ostacoli alla navigazione.

### **Abstract**

The great technological evolution of GIS software that happened during the last years, allows today to develop interesting applications about 3D data management and analysis. The availability and the great reliability of these 3D functionalities, allow to develop specialized applications about particular themes, which data have really to be managed and analyzed by 3D approach, because of the nature of data, or because of the activity purpose.

This is the case of identification and of geographical management of all the territorial elements (buildings, trees, poles, antennas, etc.) that could be obstacles for aeronautical navigation of an airport: an obstacle could be identified in function of its altitude compared to the altitude of particular 3D surfaces, that have been defined, according to ICAO international rules, referring to the different runways of airports.

In the paper, the main characteristics and functionalities of the specialized application "Albatros" are presented also by an experience in an important Italian airport (Palermo). The application has been developed as an extension of ArGIS from ESRI, just to create a reply to the typical need of airport infrastructures managers regarding the navigation obstacles.

### **La gestione degli ostacoli alla navigazione aerea: responsabilità, competenze e problematiche**

Negli ultimi anni, l'individuazione e l'aggiornamento dei dati relativi agli ostacoli alla navigazione aerea sono divenute tematiche di importanza ed interesse sempre crescente per i gestori di impianti

aeroportuali, non solo a causa di una serie di innovazioni normative che affidano agli stessi maggiori competenze e responsabilità in materia, ma anche, probabilmente, per una più consolidata cultura della sicurezza che va via via diffondendosi in tutti i settori.

A tal proposito, le disposizioni normative conseguenti al D.Lgs. n°151 del 15/03/2006 hanno comportato, nell'ottica di uniformarsi ai regolamenti tecnici internazionali, una importante revisione della parte aeronautica del Codice della Navigazione, con significative innovazioni orientate al miglioramento della sicurezza in materia di ostacoli e di potenziali pericoli per i velivoli. Secondo tali disposizioni (art. 707, comma 1 del nuovo Codice), è necessario predisporre opportune mappe di vincolo per le aree limitrofe agli aeroporti da pubblicare e rendere esecutive, secondo una procedura a tale scopo messa a punto dall'Ente Nazionale Aviazione Civile (ENAC).

Come già avveniva a seguito del D. Lgs. n°96 del 09/05/2005, viene assegnata ad ogni gestore la piena responsabilità della sicurezza d'esercizio delle proprie infrastrutture aeroportuali ed, in tal senso, una delle più importanti attività previste è il continuo monitoraggio dello stato di efficienza dei dispositivi di segnalazione (diurni e notturni) di tutti gli ostacoli alla navigazione aerea, sia interni che esterni al sedime aeroportuale di riferimento. Per ostacolo si intende, secondo la definizione fornita dalla normativa, un qualsiasi oggetto fisso (temporaneo o permanente) o mobile, o parte di esso, situato su di un'area destinata al movimento in superficie di aeromobili o che si estenda al di sopra di (ovvero che fori) una delle specifiche superfici di delimitazione destinate a proteggere gli aeromobili in volo; in altri termini, un qualsiasi elemento territoriale (un edificio, un traliccio, un palo della pubblica illuminazione, un'antenna, un albero, una gru, etc.) può rappresentare, per via della propria collocazione rispetto alle superfici di delimitazione e della propria quota, un ostacolo alla navigazione aerea.

È dunque evidente che, considerato anche il dinamismo con cui il territorio viene continuamente trasformato, ai fini dell'individuazione di nuovi potenziali ostacoli e del monitoraggio degli esistenti assume una particolare importanza acquisire da una parte una accurata conoscenza (planimetrica ed altimetrica) delle superfici di delimitazione e degli elementi territoriali d'interesse, dall'altra disporre di adeguati strumenti efficaci per effettuare tutte le valutazioni necessarie in modo affidabile, semplice e veloce.

Per quanto riguarda le superfici di delimitazione, la normativa vigente ne prevede numerose tipologie, ciascuna finalizzata a garantire la sicurezza degli aeromobili in determinate condizioni o durante l'esecuzione di particolari manovre; per ogni area aeroportuale esse vengono definite in funzione delle caratteristiche geometriche e di classificazione di ogni pista ed in relazione alla tipologia di operazioni conducibili da parte degli aeromobili. Si osservi, inoltre, che alcune delle superfici hanno sviluppi planimetrici di notevoli dimensioni (anche di 10-15 km rispetto alla fine delle piste), per cui la zona territoriale da monitorare è piuttosto ampia e relativamente "lontana" dalle infrastrutture; per una migliore comprensione della conformazione morfologica delle superfici e della conseguente area territoriale interessata, si osservino le figure 1 e 2 e si prenda in considerazione l'elenco seguente, in cui sono state riportate le caratteristiche geometriche più importanti di ciascuna tipologia e, in particolare:

- TOCS (Take Off Climb Surface), ovvero la superficie di salita al decollo (in azzurro in figura). E' costituita da un piano inclinato con origine oltre la fine della pista, che assume la forma planimetrica di una sorta di trapezio isoscele seguito da un rettangolo i cui profili longitudinali crescono con pendenza costante (2% o 4%) allontanandosi dalla pista. Lo sviluppo planimetrico della TOCS, in funzione del tipo di pista, può essere anche notevole (anche 15000 m). Se è prevista la possibilità di decollare in entrambe le direzioni, la TOCS, evidentemente, va definita da entrambi i lati della pista.
- AS (Approach Surface), ovvero la superficie di avvicinamento (in rosso in figura). E' costituita da un piano inclinato con origine oltre la soglia della pista, che assume la forma planimetrica di un trapezio isoscele. Il profilo longitudinale è suddiviso in tre diverse zone di cui la seconda ha pendenza superiore alla prima (ad esempio 2,5% e 2%) e la terza zona è

invece orizzontale. Anche in questo caso, lo sviluppo planimetrico della AS, in funzione del tipo di pista, può essere anche notevole (anche 15000 m). Se è prevista la possibilità di atterrare in entrambe le direzioni, la AS, evidentemente, va definita da entrambi i lati della pista. Ha lo scopo di proteggere la traiettoria di avvicinamento.

- TS (Transitional Surface), ovvero la superficie di transizione (evidenziata in verde in figura). Ha la forma di un tronco di piramide rovescia irregolare, con base sui limiti interni della AS e sui bordi della runway strip, ovvero una striscia solitamente ampia 300 m a cavallo dell'asse della pista. Da questa base la TS diverge verso l'esterno con pendenza ben definita rispetto alla verticale (14,3% o 20%) lungo i bordi della strip e seguendo invece il profilo della AS sugli altri due lati, fino ad incontrare la IHS. Eventuali ostacoli che forino la TS vanno tassativamente rimossi, a meno che non si tratti di elementi di aiuto alla navigazione, caratterizzati dei necessari requisiti di frangibilità. Ha lo scopo di proteggere un aeromobile che sorvoli la pista spostato lateralmente.
- IHS (Inner Horizontal Surface), ovvero la superficie orizzontale interna (evidenziata in azzurro chiaro in figura). E' una superficie orizzontale che si genera ad una distanza ben definita (nell'esempio a + 45 m) a partire dal più basso dei due punti di fine pista. A questa quota è necessario generare due circonferenze di raggio definito (nell'esempio 4000 m) e collegarle reciprocamente con due segmenti tangenti.
- CS (Conical Surface), ovvero la superficie conica (evidenziata in arancio in figura). E' una superficie tronco-conica rovescia che, avendo per base la IHS, diverge verso l'esterno e verso l'alto con pendenza costante pari al 5% fino ad incontrare la OHS.
- OHS (Outer Horizontal Surface), ovvero la superficie orizzontale esterna (evidenziata in arancio scuro in figura). E' una superficie orizzontale circolare con raggio ben definito (nell'esempio pari a 15000 m) generata a partire dal punto di riferimento dell'intera aerea aeroportuale (ARP, Airport Reference Point), ad una quota ben definita riferita alla IHS (nell'esempio a + 100 m).

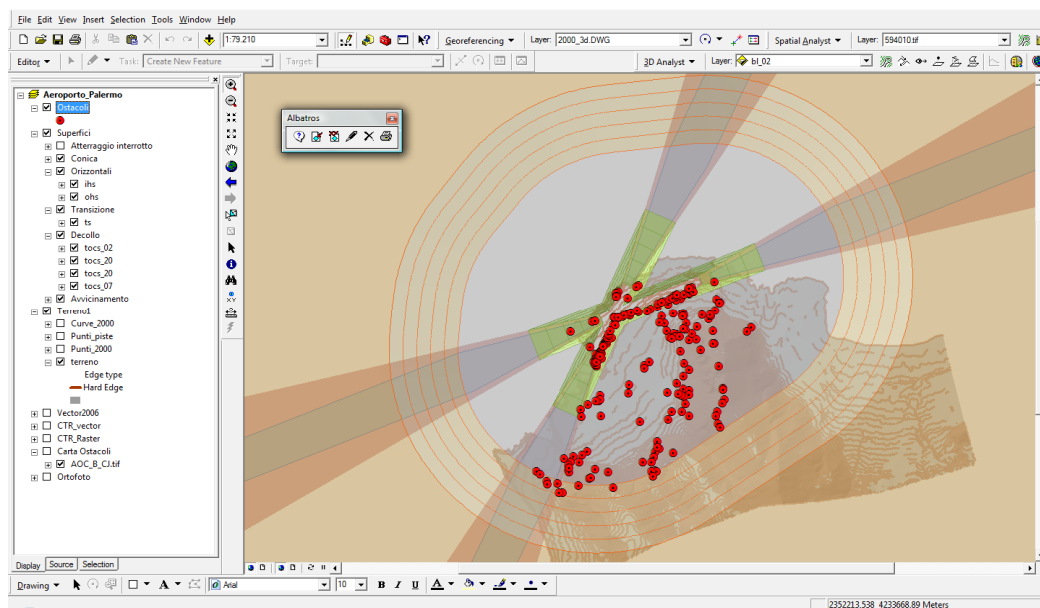


*Figura 1 – Inquadramento planimetrico delle superfici di delimitazione dagli ostacoli dell'aeroporto di Palermo in ArcMAP; si noti l'integrazione nell'interfaccia grafica della toolbar dell'estensione specialistica ALBATROS.*

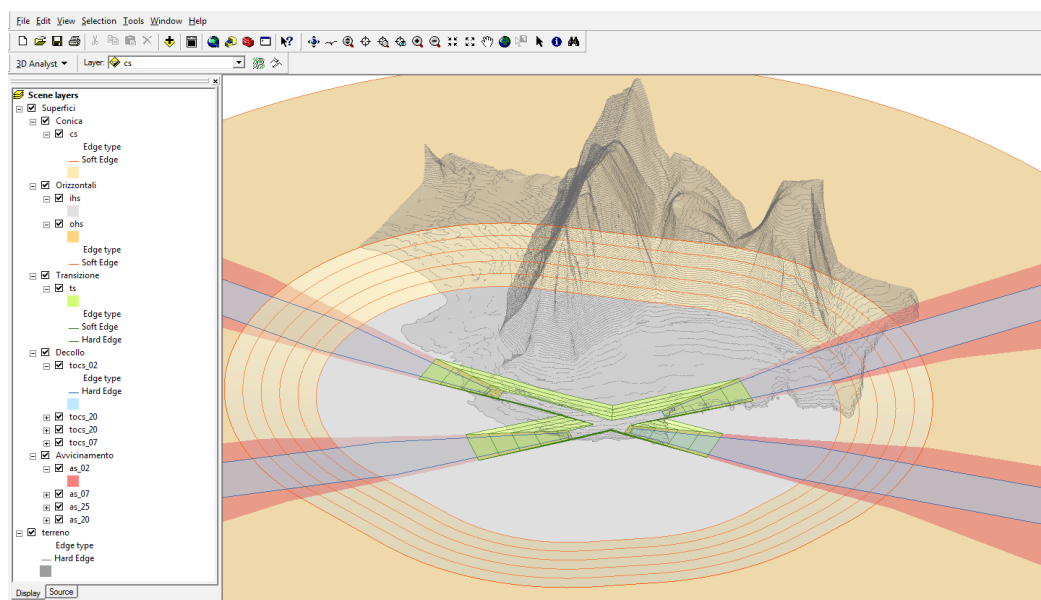


*Figura 2 – Rappresentazione tridimensionale delle superfici di delimitazione dagli ostacoli dell'aeroporto di Palermo ottenuta mediante l'applicazione Arcscene del 3D Analyst di ArcGIS (N.B.: le quote sono state moltiplicate per 5).*

Le superfici sopra descritte rappresentano dunque, nel loro insieme, lo strumento normativo di delimitazione dello spazio aereo che, per ciascun impianto aeroportuale, non dovrebbe mai essere sfiorato in quota da nessun elemento territoriale, al fine di garantire la massima sicurezza all'esercizio dei velivoli. Evidentemente, non è sempre possibile rimuovere gli eventuali ostacoli presenti ed, a tal fine, la normativa presenta differenti livelli di "tolleranza" in funzione della tipologia della superficie forata (ovvero, in funzione della vicinanza e dell'orientamento rispetto all'asse della pista): in molti casi è sufficiente predisporre opportuni impianti di segnalazione diurni e notturni, mentre il ricorso alla rimozione è indispensabile solo nei casi di maggiore rischio per le operazioni.

Si osservi, inoltre, che le competenze e le responsabilità nella classificazione come ostacolo alla navigazione aerea di un qualsiasi elemento che fori una superficie sono interamente ed esclusivamente affidate all'ENAC e che tale processo viene concluso "istituzionalmente" con l'inserimento nelle cosiddette "carte ostacoli", che vengono periodicamente pubblicate ed aggiornate dall'ENAV (Ente Nazionale per l'Assistenza al Volo). Sul piano delle competenze così come previsto dalle norme, le responsabilità del gestore aeroportuale si "limitano" dunque esclusivamente al monitoraggio dello stato ed al mantenimento in efficienza dei dispositivi di segnalazione degli ostacoli già noti (ovvero inseriti nelle carte "ostacoli" dell'ENAV), ma, nella pratica, la piena responsabilità della sicurezza di esercizio dell'impianto conferita allo stesso gestore e la grande importanza che assumono in tal senso i dati relativi agli ostacoli, "costringono" a predisporre continue e frequenti campagne di rilevamento che, spesso, vanno ben oltre gli specifici compiti istituzionali, ponendo anche numerose problematiche dal punto di vista economico, di programmazione, gestione e coordinamento, oltre che metodologico.

In dettaglio, dal punto di vista economico è piuttosto evidente il notevole onere cui si trovano a dover far fronte i gestori, tenendo in considerazione non solo la rilevante estensione delle aree da monitorare (solitamente nell'ordine di grandezza delle migliaia di ettari) e l'esigenza di reiterare le attività con certa frequenza, ma anche la particolare eterogeneità degli elementi da rilevare (edifici,



antenne, tralicci, pali, alberi, etc.) ed il livello di accuratezza richiesto dalle norme per il posizionamento plano-altimetrico che, in alcune zone, richiede una certa precisione (si prevede un errore quadratico medio planimetrico e altimetrico pari a 0.5 m per la TOCS, la AS, la TS, e di 5 m al punto di vista planimetrico e 3 m dal punto di vista altimetrico per la IHS, la CS e la OHS).

Si pone, inoltre, una rilevante problematica di coordinamento tra diversi enti competenti, nell'ambito della quale, a dire il vero, l'ENAC ha tentato, negli ultimi anni di mettere ordine, con numerosi regolamenti e circolari (oltre che con un'azione diffusa sul territorio), ma senza ancora raggiungere, a parere di chi scrive, i risultati attesi. Le procedure messe in atto a tal fine dall'ENAC consistono, in sostanza, nella promozione di uno stretto coordinamento tra lo stesso ENAC, le Amministrazioni Comunali (competenti al rilascio di autorizzazioni e concessioni edilizie) il cui territorio sia interessato dalle superfici di delimitazione dagli ostacoli, ed il gestore aeroportuale, in modo da essere nelle condizioni di poter valutare preventivamente la compatibilità aeronautica di un qualsiasi progetto da realizzare. A regime, l'obiettivo è quello di fare in modo che gli enti locali interessati recepiscano nei propri strumenti urbanistici una nuova tipologia di vincolistica (sulle elevazioni edificabili) che scaturisce sul territorio dalla presenza delle superfici di delimitazione dagli ostacoli, nonché alcune limitazioni alle attività (che potrebbero provocare pericoli per la navigazione aerea) indicate nei piani di rischio aeroportuali.

Infine, è evidente che si pone anche una rilevante problematica metodologica, legata alla gestione della grande quantità di dati ed informazioni territoriali che vengono periodicamente rilevate e/o aggiornate: da questo punto di vista, le tecnologie ormai mature disponibili nel settore della geomatica suggeriscono certamente che la soluzione più opportuna ed economicamente vantaggiosa (specialmente se valutata nel lungo periodo) sia proprio l'implementazione di un sistema informativo territoriale specializzato sulla gestione dei dati di interesse aeroportuale. Recentemente (settembre 2009), a tal fine, l'ENAC ha pubblicato un bando di gara (con esito ad aprile 2011) finalizzato proprio alla realizzazione di un simile sistema (denominato SISTRA, SiStema TeRritoriale degli Aeroporti) che è attualmente in fase di realizzazione e che dovrebbe raccogliere ed organizzare in un'unica base di dati a livello nazionale le informazioni d'interesse di tutti gli aeroporti creando, tra l'altro, una rete di comunicazione ed interscambio dati diretta tra ENAC ed i singoli gestori aeroportuali.

Tuttavia, anche quando sarà stato completato e messo in esercizio il SISTRA, rimarranno ancora irrisolte per i gestori aeroportuali alcune delle problematiche sopra descritte, in quanto sembra che il progetto attualmente in fase di sviluppo non preveda la creazione di specifiche funzionalità per la gestione e l'individuazione degli ostacoli in modo da poter effettuare rapidamente verifiche e valutazioni.

Da quanto sinora esposto emerge dunque un quadro complessivo per il gestore aeroportuale già di per sé piuttosto delicato sul piano delle responsabilità e delle competenze oltre che significativamente oneroso sul piano economico, aggravato inoltre dalla attuale mancanza di adeguati strumenti specialistici che consentano di gestire le problematiche descritte in maniera più semplice e produttiva.

In un simile contesto si collocano dunque le motivazioni che hanno dato luogo allo sviluppo del software specialistico Albatros, le cui funzionalità principali verranno presentate più estesamente nel paragrafo successivo e che nasce con l'obiettivo di fornire un adeguato riscontro applicativo alle esigenze tipiche del gestore aeroportuale che intenda dotarsi di uno strumento tecnologicamente avanzato ma, al tempo stesso, facilmente accessibile per gestire in un unico ambiente tutti i dati e le attività d'interesse in materia di ostacoli alla navigazione aerea.

### **Caratteristiche e funzionalità fondamentali del software ALBATROS**

L'insieme delle funzionalità connesse alla gestione ed alle modalità di rappresentazione di entità di tipo tridimensionale sono state negli ultimi anni oggetto di notevoli sviluppi, che consentono oggi di progettare e realizzare sistemi informativi territoriali specializzati su tematiche innovative,

superando definitivamente il “classico” approccio bidimensionale “ereditato” dalla cartografia tradizionale.

L'applicativo che in questa sede si presenta assume pieno significato in relazione agli obiettivi fissati anche grazie ad alcune di queste funzionalità, che permettono oggi di proporre un software GIS come un utile strumento di gestione e monitoraggio degli ostacoli alla navigazione aerea di una aerea aeroportuale.

Il software Albatros, acronimo di Airport Limitation of oBject Altitude: Topographic Recognition of Obstacle System, è un applicativo GIS specializzato per la gestione e l'analisi di dati spaziali di tipico interesse aeroportuale, con particolare riferimento a tutti gli elementi territoriali che possano costituire ostacolo alla navigazione aerea (edifici, tralicci, pali, alberi, antenne, etc.) archiviandone la posizione geografica su una cartografia di base e tutti gli elementi informativi e descrittivi d'interesse (caratteristiche geometriche, anagrafiche dei responsabili, fotografie, ecc.).

Il software è stato sviluppato con tecnologia Microsoft™ Visual Basic™ e si configura come una estensione del software GIS di grande diffusione ArcGIS™, prodotto da ESRI™, di cui necessita per il proprio funzionamento. In particolare, Albatros si integra perfettamente nell'ambiente ESRI™ ArcMAP™, configurandosi come una toolbar dell'interfaccia grafica, che aggiunge nuove funzionalità specializzate per la gestione degli ostacoli alla navigazione aerea a quelle di base del programma.

Attraverso l'interfaccia grafica, il software permette di inserire e/o modificare elementi d'interesse ed i relativi dati d'attributo attraverso semplici maschere d'interfaccia, in cui le differenti opzioni sono state configurate in modo da essere il più possibile “guidate”.

Relativamente ai dati di attributo, il programma opera su un database configurato per gestire tutti i dati tipici d'interesse per la gestione degli ostacoli alla navigazione aerea, ed in particolare, per ciascun elemento:

- Descrizione, classificazione (secondo legenda ENAV) e codice identificativo;
- Anagrafica di riferimento del responsabile (Nome, Cognome, Telefono, Indirizzo, località);
- Posizionamento altimetrico (quota del terreno, elevazione dell'ostacolo dal terreno, entità dell'infrazione, elenco superfici forate e valutazione del singolo scarto);
- Posizionamento planimetrico (coordinate EST e NORD nei Sistemi di riferimento maggiormente utilizzati, ovvero Gauss Boaga, UTM e WGS84);
- Dispositivi di segnalazione (presenza e stato dei dispositivi di segnalazione diurni e notturni, data dell'ultimo monitoraggio e dell'ultimo intervento, ubicazione in circling area o in zona d'ombra, note);
- Documentazione fotografica da allegare.

Una volta configurato, il software è inoltre in grado di interagire con i modelli digitali del terreno e delle superfici di delimitazione specificati, i quali possono essere costruiti, mediante le funzionalità del GIS, mediante strutture TIN (a maglie triangolari irregolari) o GRID (a maglie quadrate regolari). Questa interazione con il dato altimetrico dei modelli del terreno e delle superfici rappresenta, probabilmente, l'aspetto più interessante ed innovativo del software, grazie al quale è possibile immediatamente verificare e quantificare l'eventuale sfioramento in quota di un nuovo elemento (caratterizzato dalla propria elevazione dal suolo).

In altri termini, Albatros non si limita a gestire l'esistente (ovvero gli elementi territoriali già identificati come ostacoli), ma, attraverso alcune procedure di calcolo che operano in relazione a modelli digitali del terreno e modelli digitali delle superfici di delimitazione, è in grado di valutare se nuovi elementi che si intendono realizzare (o collocare temporaneamente) in prossimità dell'area aeroportuale, sfiorino o meno i limiti in quota fissati e, in questo caso, di quantificare l'entità dell'infrazione, identificando anche la superficie violata. Evidentemente, la qualità e l'affidabilità dei risultati è direttamente correlata alla precisione dei modelli di riferimento utilizzati per il terreno e per le superfici.

Albatros - Informazioni sull'ostacolo

**Aeroporto di XXX** Informazioni su Albatros...

1 - Ostacolo 2 - Segnalaz. e illuminaz. 3 - Documentazione fotografica

**Anagrafica ostacolo**

Codice: 30 Classif. ENAV: Albero o arbusto - Gruppo di alberi  
 Descrizione: Albero Data censimento: / /

**Anagrafica di riferimento**

Responsabile: Tel.:  
 Località: Indirizzo:

**Posizionamento altimetrico**

Quota del terreno (m): 16,23  
 Elevaz. ostacolo da terr. (m): 4,68  
 Quota sommità ostacolo (m): 20,91  
 Entità dell'infrazione (m): -2,39  
 Pendenza congiungente (%): 20,82  
 Superficie forata più vincol.: 15  
 Livello di accuratezza: 2000

**Posizionamento planimetrico**

Coord. EST Gauss Boaga (m): 2.353.226,250  
 Coord. NORD Gauss Boaga (m): 4.227.023,185  
 Coord. EST UTM WGS84 (m): 333.231,178  
 Coord. NORD UTM WGS84 (m): 4.227.024,625  
 Longitudine WGS84: 13,054580  
 Latitudine WGS84: 38,103259

Superfici interessate... Stampa... Chiudi

Albatros - Informazioni sull'ostacolo

**Aeroporto di XXX** Informazioni su Albatros...

1 - Ostacolo 2 - Segnalaz. e illuminaz. 3 - Documentazione fotografica

**Documentazione fotografica**

Superfici interessate... Stampa... Chiudi

Albatros - Informazioni sull'ostacolo

**Aeroporto di XXX** Informazioni su Albatros...

1 - Ostacolo 2 - Segnalaz. e illuminaz. 3 - Documentazione fotografica

**Dispositivi di segnalazione e illuminazione**

☐ Presenza di dispositivi di segn. e illum. diurni Stato: >  
☐ Presenza di dispositivi di segn. e illum. notturni Stato: >

Data ultimo monitoraggio: / / Data ultimo intervento: / /

Operatore ultimo monitoraggio:  
 Operatore ultimo intervento:

☐ Ubicazione in circling area  
☐ Ubicazione in zona d'ombra

Note:

Superfici interessate... Stampa... Chiudi

Figura 3 – Maschere d'interfaccia del software ALBATROS.

Per quanto riguarda le funzionalità tipiche della rappresentazione (realizzazione di cartografia tematica) e di interrogazione dei dati, Albatros si appoggia all'efficiente e collaudato "motore" di ArcGIS, mentre è stata implementata una specifica funzionalità di stampa di report personalizzabili. Benché non sia strettamente indispensabile per il funzionamento del programma, la presenza dell'estensione 3D Analyst™ di ArcGIS™ è utile, in quanto consente anche di visualizzare i dati degli ostacoli, delle superfici di delimitazione e del modello del terreno, mediante una efficace rappresentazione tridimensionale, che si aggiunge a quella "classica" planimetrica di ArcMAP™.

## **Conclusioni**

Nel lavoro sono state in primo luogo presentate ed analizzate alcune delle principali problematiche che caratterizzano le tipiche attività di competenza dei gestori aeroportuali in materia di ostacoli alla navigazione aerea, tematica di fondamentale importanza per la sicurezza d'esercizio degli impianti. Dopo una rapida disamina delle differenti responsabilità stabilite dalla normativa vigente, sono state messe in evidenza le principali criticità, con particolare riferimento agli oneri economici da sostenere per le necessarie campagne di monitoraggio, alla forte esigenza di un efficace coordinamento tra i diversi soggetti che intervengono, ed all'approccio metodologico ed applicativo da adottare al fine di migliorare l'efficienza e la produttività dei procedimenti attualmente utilizzati. In conclusione, sono state presentate le caratteristiche e le funzionalità fondamentali dell'applicativo specialistico Albatros, che rappresenta un utile strumento per gestire con efficacia ed immediatezza in ambiente GIS le più tipiche problematiche di gestione ed analisi degli ostacoli alla navigazione aerea, con interessanti vantaggi operativi (soprattutto in termini di semplicità d'uso e di produttività) non solo per i gestori aeroportuali, ma anche per le Amministrazioni comunali il cui territorio sia direttamente interessato da superfici di delimitazione. Il software infatti consente non solo di gestire tutti i dati d'interesse mediante apposite maschere d'interfaccia semplificate, ma permette, grazie all'interazione con modelli tridimensionali del terreno e delle superfici di delimitazione, di effettuare facilmente valutazioni su nuovi possibili elementi che possano rappresentare ostacolo, determinando anche l'eventuale entità dello sforamento in quota rispetto alla superficie coinvolta.

## **Riferimenti bibliografici**

- Colombrita F., Condorelli A., Guarrera G. (2005), "Rilevamento e rappresentazione in un GIS 3D degli ostacoli alla navigazione aerea" – VIII Conferenza Italiana Utenti ESRI – Roma, Aprile 2005
- Colombrita F., Condorelli A., Guarrera G. (2005), "Un sistema informativo territoriale 3D degli ostacoli alla navigazione aerea" – Rivista GEOmedia n°5/2005, pp.6-11, ISSN: 1128-8132,
- ENAC - Regolamento per la costruzione e l'esercizio degli Aeroporti, Ed.2., emendamento 6, luglio 2011
- ENAV - Manuale AIS, Servizio Informazioni Aeronautiche, Emendamento 1.2004
- D.Lgs.15/03/2006, n°151 "Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 9 maggio 2005 n°96, recante la revisione della parte aeronautica del codice della navigazione" - Gazzetta Ufficiale n. 88 del 14 aprile 2006
- D. Lgs. 09/05/2005, n. 96 – "Revisione della parte aeronautica del codice della navigazione, a norma dell'articolo 2 della legge 9 novembre 2004, n. 265" - Gazzetta Ufficiale n. 131 del 8 giugno 2005 - Supplemento Ordinario n. 106
- L. 09/11/2004 "Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 8 settembre 2004, n. 237, recante interventi urgenti nel settore dell'aviazione civile. Delega al Governo per l'emanazione di disposizioni correttive ed integrative del codice della navigazione" - Gazzetta Ufficiale n. 264 del 10 novembre 2004
- ICAO - Annex 14, Fifth Edition July 2009

## **La classificazione di zone ed agglomerati in Regione Piemonte ai fini della valutazione della qualità dell'aria ambiente in attuazione della direttiva 2008/50/CE**

Carla Contardi (\*), Francesco Matera (\*), Giuseppina Turco (\*), Simona Costamagna (\*\*),  
Mirko Forgelli (\*\*), Emanuela Sarzotti (\*\*)

(\*) Regione Piemonte, Direzione Ambiente, Via Principe Amedeo 17, 10123 Torino  
e-mail: carla.contardi@regione.piemonte.it; francesco.matera@regione.piemonte.it; giuseppina.turco@regione.piemonte.it  
(\*\*) CSI Piemonte, Direzione Territorio e Ambiente, Corso Tazzoli 215/12b 10137 Torino  
e-mail: simona.costamagna@csi.it

### **Riassunto**

La direttiva 2008/50/CE “qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa”, recepita con il DLgs 155/2010, prevede che il territorio dei singoli stati debba essere suddiviso in zone ed agglomerati, come elemento essenziale per assicurare l'uniformità delle attività connesse alla sua attuazione ai diversi livelli territoriali. La norma definisce criteri e procedure volti a garantire che la suddivisione avvenga in modo uniforme e razionale, poiché governa le modalità di Valutazione della Qualità dell'Aria, basata - in ciascuna regione - su un programma nel quale sono definiti la rete di misura ufficiale, i modelli e le stime obiettive. Per la zonizzazione del territorio sono state analizzate la densità abitativa, le caratteristiche orografiche e meteorologiche, il carico emissivo e il grado di urbanizzazione del territorio, al fine di individuare aree sulle quali una o più di tali caratteristiche risultino predominanti nel determinare i livelli degli inquinanti. Per l'analisi di tali caratteristiche la Regione Piemonte ha utilizzato una serie di elaborazioni spaziali che hanno portato a suddividere il territorio regionale in tre zone altimetriche, aventi in comune anche aspetti legati al carico emissivo ed ai livelli di inquinamento. I dati utilizzati per l'individuazione delle zone sono stati analizzati sia su base comunale sia su griglia di 1 km per lato: densità abitativa da Land Cover Piemonte; densità emissiva per NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> e COV (fonte IREA); classe prevalente della distribuzione della velocità del vento (fonte ARPA Piemonte). Sono state così delimitate quattro zone: Agglomerato; Pianura; Collina; Montagna. Per la consegna delle nuove zonizzazioni, il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare ha predisposto un'apposita struttura per la consegna dei dati territoriali; i dati sono corredati da schede metadato predisposte secondo le indicazioni della Direttiva INSPIRE 2007/2/CE e DLgs 32/2010.

### **Abstract**

*Directive 2008/50/EC on ambient air quality and cleaner air for Europe, transposed by the D.lgs 155/2010 at national Italian level, establishes a common approach to the assessment of ambient air quality to be applied in all regions according to common criteria. When assessing ambient air quality, the population size and ecosystems exposed to air pollution should be taken in consideration. It is appropriate to classify the territory of each region into zones or agglomerations reflecting on common uniform basis. This kind of zoning is in fact a starting point on which the whole activity of ambient air quality assessment has to be organized. A number of spatial data were analysed by the Piedmont Region to divide the region into zones. The following data were processed on both local and the 1 km per side grid level: population density by land cover Piedmont; emissive density for NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub> and COV (source IREA); prevalent class of wind speed distribution (source: ARPA Piemonte). As the result, the four areas were defined:*

*agglomerations; plain zone, hill zone and mountain zone. The delivery consists of a spatial data, accompanied by metadata prepared in accordance with the directions of the INSPIRE Directive 2007/2/EC and Decree 32 / 2010.*

### **Contesto**

Il Decreto Legislativo 13 agosto 2010, n.155 "Attuazione della direttiva 2008/50/CE relativa alla qualità dell'aria ambiente e per un'aria più pulita in Europa" recepisce la direttiva 2008/50/CE istituendo un quadro normativo unitario in materia di valutazione e di gestione della qualità dell'aria ambiente.

I punti salienti della riforma normativa sono di seguito riassunti:

- individuazione della zonizzazione come fase essenziale per assicurare l'uniformità delle attività di valutazione e di gestione della qualità dell'aria da parte delle autorità regionali;
- razionalizzazione dell'utilizzo delle misurazioni e delle altre tecniche di valutazione della qualità dell'aria;
- individuazione del campo di applicazione dei piani regionali di qualità dell'aria;
- possibilità di ricorrere a misure nazionali e interventi di carattere nazionale;
- coordinamento e verifica dello stato sull'adempimento da parte delle regioni.

In merito al primo punto la norma definisce criteri e procedure volti a garantire che la divisione del territorio nazionale in zone e agglomerati sia effettuata in modo uniforme e razionale presso tutte le regioni. Tale zonizzazione è infatti il presupposto su cui si organizza l'intera attività di valutazione della qualità dell'aria ambiente.

La classificazione delle nuove zone governa le modalità di svolgimento della Valutazione della Qualità dell'Aria che prevede che la valutazione sia basata, in ciascuna regione, su un programma di valutazione nel quale sono definiti la rete di misura ufficiale, i modelli e le stime obiettive. Le stazioni che fanno capo alla rete di misura ufficiale dovranno essere conformi a tutti i requisiti previsti dalla norma oltre che soggette alla gestione o al controllo pubblico. La norma infine impone anche un processo di razionalizzazione finalizzato all'eliminazione di stazioni in eccesso.

La zonizzazione del territorio richiede la previa individuazione degli agglomerati e la successiva individuazione delle altre zone.

Gli agglomerati sono individuati sulla base dell'assetto urbanistico, della popolazione residente e della densità abitativa. Nel Decreto gli agglomerati sono definiti come la zona costituita da un'area urbana o da un insieme di aree urbane che distano tra loro non più di qualche chilometro oppure da un'area urbana principale e dall'insieme delle aree urbane minori che dipendono da quella principale sul piano demografico, dei servizi e dei flussi di persone e merci, avente: una popolazione superiore a 250.000 abitanti; oppure una popolazione inferiore a 250.000 abitanti e una densità di popolazione per km<sup>2</sup> superiore a 3.000 abitanti.

Le altre zone sono individuate, principalmente, sulla base di aspetti come il carico emissivo, le caratteristiche orografiche, le caratteristiche meteo-climatiche e il grado di urbanizzazione del territorio, al fine di individuare le aree in cui uno o più di tali aspetti sono predominanti nel determinare i livelli degli inquinanti e di accorpate tali aree in zone contraddistinte dall'omogeneità degli aspetti predominanti.

Entro il 30 gennaio 2011 le regioni e le province autonome hanno dovuto individuare la propria zonizzazione del territorio ed la classificazione di zone ed agglomerati ai fini della valutazione della qualità dell'aria ambiente sulla base dei criteri indicati nell'Appendice I e nell'Allegato II del medesimo decreto ai fini dell'art.3 del D.Lgs.155/2010.

La documentazione relativa al progetto di zonizzazione e relativa classificazione del territorio in zone e agglomerati è quindi stata trasmessa al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare – Direzione per le Valutazioni Ambientali – e all'ISPRA

Il Ministero dell'Ambiente valuta la conformità del progetto alle disposizioni del presente decreto ed agli indirizzi espressi dal Coordinamento di cui all'articolo 20, tenendo conto della coerenza dei progetti di zonizzazioni regionali relativamente alle zone di confine.



La Regione Piemonte, sulla base del Decreto, ha predisposto il progetto della nuova zonizzazione e su di esso il Ministero dell'Ambiente si è espresso favorevolmente.

A livello nazionale non si è, ad oggi, completato il processo di classificazione in zone.

La classificazione delle zone e degli agglomerati dovrà essere riesaminata almeno ogni 5 anni, e comunque, in caso di significative modifiche delle attività che incidono nell'aria ambiente degli inquinanti di cui all'articolo 1, comma2. Le eventuali modifiche alla delimitazione delle zone e degli agglomerati sono oggetto di comunicazione annuale alla Comunità Europea da parte del Ministero.

### **Qualità dell'aria in Piemonte**

Per l'anno 2010, come per gli anni precedenti, si segnalano numerosi eventi di superamento dei limiti previsti dalla normativa. Attualmente le criticità maggiori riguardano il PM10

Mentre per il Biossido di zolfo, il Monossido di carbonio, il Benzene e i Metalli la situazione appare già normalizzata e il rispetto dei limiti risulta garantito su tutto il territorio regionale, per le polveri sottili (PM10), il Biossido di azoto e l'Ozono, i limiti stabiliti dalla normativa europea sono superati con modalità e frequenze preoccupanti in vaste zone del nostro territorio.

Il territorio interessato dai superamenti dei limiti del PM10 è quello delle aree di pianura oltre che dei fondovalle, mentre, man mano ci si avvicina a zone più collinari o alpine le concentrazioni diminuiscono.

La situazione dei valori rilevati per il PM10 risulta abbondantemente superiore ai limiti imposti: a fronte di un numero di 35 superamenti consentiti nell'arco dell'anno, si registrano da 38 (Druento – la Mandria) a 131 (Torino – Grassi) superamenti nelle zone di piano e anche fino a 45 (Vinchio – San Michele) superamenti nelle zone di mantenimento. A questo si aggiunge che la media annua di 40 µg/m3, sempre nel 2010, è stata superata in moltissime stazioni urbane con valori oscillanti tra 43 e 50 µg/m3 (rispettivamente Torino – Consolata e Torino – Grassi).

In ogni caso la situazione della qualità dell'aria in Piemonte ha avuto negli ultimi anni importanti segni di miglioramento: si è ridimensionata l'area in cui permane la situazione di superamento della media annua, ma resta purtroppo molto estesa l'area in cui si verificano più di 35 superamenti/anno della media giornaliera, anche se sono diminuiti sensibilmente i giorni di superamento.

Anche per l'Ozono gli indicatori di legge sono superati in gran parte del territorio regionale; in particolare sono superati ovunque quelli relativi alla protezione della vegetazione e delle foreste.

Per il Biossido di Azoto, al contrario, la situazione dell'intero territorio piemontese evidenzia nel 2010 il rispetto del valore limite su base oraria in tutte le zone piemontesi.

Relativamente al valore limite su base annuale, posto dalla normativa in vigore pari a 40 µg/m3, permangono condizioni di criticità nei siti di traffico in quasi tutte le zone di piano esterne all'agglomerato torinese, anche se i valori non superano i 58 µg/m3 (Novara - Roma); per l'agglomerato torinese, invece, sono stati rilevati superamenti anche nelle stazioni di fondo urbano, registrando valori compresi tra i 42 e 74 µg/m3 (rispettivamente Torino – Lingotto per il fondo e Torino – Rebaudengo per il traffico).

Nonostante per PM10, O3 ed in parte per NO2, si misurino ancora superamenti dei limiti, l'evoluzione della qualità dell'aria in Piemonte mostra negli anni un miglioramento significativo.

Il PM10 presenta un trend in leggera diminuzione mentre per l' NO2 il trend di riduzione, cominciato a partire dagli anni '90 e proseguito fino ai primi anni 2000, è ostacolato negli ultimi anni dalla diffusione dei veicoli diesel che hanno emissioni maggiori, se riferiti alle classi euro più recenti, dei corrispondenti veicoli a benzina. Anche l'andamento dell'ozono è risultato complessivamente stabile, dominato soprattutto dalle condizioni meteorologiche dei diversi anni.

L'analisi dei dati relativi all'aggiornamento per l'anno 2007 dell'Inventario regionale delle emissioni (IREA) evidenzia che per le emissioni di PM10 (primario) il più significativo contributo alle emissioni totali deriva dal settore dei trasporti (42,2%), da quello della combustione non industriale (17,1 %), e industriale (6 %).

Dal punto di vista emissivo è importante sottolineare che, in relazione alla composizione del PM10 le emissioni che contribuiscono ai livelli di particolato misurati non sono solo quelle di PM10 primario ma anche quelle di NOx, SO2, NH3 e COV.

Le maggiori emissioni di SO2 derivano da impianti produttivi, in particolare raffinerie di petrolio greggio, mentre le fonti più importanti di NOX sono il traffico veicolare ed off-road.

I composti organici volatili (COV) non metanici sono prodotti principalmente dall'uso di solventi e ancora dal traffico veicolare; per quanto riguarda le emissioni di NH3, il maggior contributo proviene dal settore agricolo.

Al settore dei trasporti corrisponde anche il maggior peso delle emissioni di monossido di carbonio (61,5 %) e di quello degli ossidi di azoto (44,8 %). Questi ultimi sono particolarmente significativi anche nei processi di formazione della componente secondaria del PM che, secondo recenti studi può arrivare a pesare fino al 70-80% nelle zone rurali, e fino al 50-60% nelle aree urbane.

Si noti infine come almeno in alcune parti del territorio un contributo importante è poi dato dalla combustione della legna nelle stufe e negli apparecchi di riscaldamento domestici: in talune parti del Piemonte le emissioni di PM10 primario dalla combustione della legna corrispondono ad una parte rilevante delle emissioni da riscaldamento domestico, pur fornendo questo combustibile solo una parte trascurabile del calore complessivo prodotto in tale ambito.

### **Il processo di classificazione per determinare agglomerati e zone**

In Regione Piemonte ai fini dell'individuazione della zonizzazione e della classificazione degli agglomerati sono stati prima di tutto analizzati gli approcci metodologici delle regioni confinanti con il territorio piemontese al fine di valutare, se possibile, una migliore armonizzazione delle nuove zone piemontesi con le zone determinate in Lombardia e Valle d'Aosta.

Per determinare le nuove zone per la nostra regione è stata condotta una approfondita analisi territoriale utilizzando una serie di dati prodotti anche attraverso elaborazioni spaziali multifattoriali o spazializzazione.

Per supportare al meglio l'analisi dei dati raccolti sono state predisposte delle carte di sintesi.

La Regione Piemonte è inserita all'interno del Bacino Padano, che è circondato dalle montagne su tre lati. Ciò determina condizioni meteorologiche particolarmente sfavorevoli per la qualità dell'aria in cui le emissioni di inquinanti si distribuiscono, ma faticano a disperdersi: i venti medi sono tra i più bassi d'Europa; frequentemente si instaurano condizioni di alta pressione associata a stabilità atmosferica, con gli inquinanti che si disperdono in altezza solo fino a pochi metri dal suolo.

Sono state prodotte prima di tutto delle carte di inquadramento: una carta con la suddivisione dei Comuni classificati per fascia altimetrica (secondo classificazione ISTAT) ed una carta orografica in cui sono state prese in considerazione la morfologia del territorio, le aree edificate, l'idrografia e le principali vie di comunicazione.

E' stata inoltre analizzata la meteorologia del Piemonte. Sono state realizzate la mappa di distribuzione oraria della velocità del vento partendo da informazioni fornite da ARPA Piemonte, prendendo in considerazione la classe prevalente della distribuzione oraria della velocità del vento tra il 2004 e il 2008, e la mappa dell'altezza dello strato di rimescolamento.

Si è quindi passati alla individuazione degli agglomerati urbani sul territorio regionale. Inizialmente è stata analizzata la densità di popolazione su base comunale. Successivamente, per poter valutare più in dettaglio la densità di popolazione all'interno del territorio comunale, è stato prodotto un dato di densità su una griglia di maglia di 1 Km per 1 Km, utilizzando gli edificati derivanti dal progetto Land Cover Piemonte – LCP e lo strato informativo dell'uso e della copertura delle terre derivato dall'armonizzazione e all'integrazione di dati presenti in archivi e cartografie già esistenti in Regione Piemonte integrato con informazioni derivanti da attività di fotointerpretazione tradizionale - associandogli i dati di popolazione ISTAT. La valutazione demografica all'anno 2009 evidenzia che, nel territorio della Regione Piemonte, se si esclude Torino, non esistono altri Comuni aventi una popolazione superiore a 250.000 abitanti né una densità di popolazione superiore a 3.000 abitanti/km2.

Al fine dell'individuazione dell'estensione di tale agglomerato sono state valutate due diverse ipotesi: un agglomerato ristretto comprendente oltre a Torino altri 11 comuni (quello esistente nella precedente zonizzazione) ed un agglomerato esteso formato da 32 comuni aventi alcuni servizi in comune.

Sono state quindi analizzate le emissioni totali per ogni inquinante di cui all'art. 1, comma 1, lettere a) b) c) d) attraverso l'analisi dei dati VEA (Valutazione Emissioni in Atmosfera Regione Piemonte)

In una prima fase sono stati analizzati i dati VEA che evidenziano la componente emissiva sul territorio comunale, quindi le "Emissioni totali annue per Comune (t/kmq)" relativamente agli inquinanti: COV; NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub>.

Quindi sono stati presi in considerazione i dati VEA che derivano dalla spazializzazione su griglia (1 Km per 1 Km) delle emissioni per i principali inquinanti calcolate dal sistema INEMAR per ciascun anno su base comunale; anche in questo caso sono stati considerati i valori relativi agli inquinanti: COV NH<sub>3</sub> NO<sub>x</sub>, PM<sub>10</sub>.

Per ciascun inquinante è stata prodotta una carta di maggior dettaglio sulle aree degli agglomerati urbani in modo da rendere più semplice valutarli (vedasi Figura1).

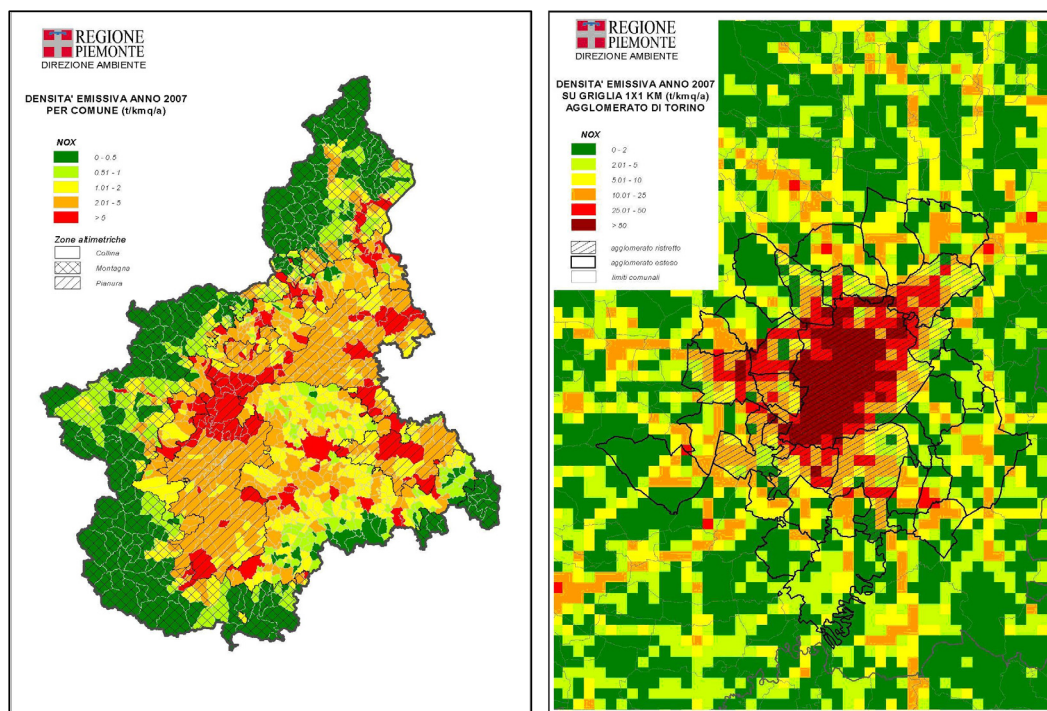


*Figura 1 – Rappresentazione delle emissioni di NOx su base comunale con sovrapposte le zone altimetriche e su griglia 1 Km per 1 Km con sovrapposti gli agglomerati urbani.*

La prima ipotesi di zonizzazione, scaturita dalla valutazione dei parametri su riportati è stata successivamente confrontata con quella ottenuta da ARPA Piemonte in collaborazione con il Dipartimento di Statistica e Matematica Applicata "De Castro" dell'Università di Torino applicando metodologie di clusterizzazione funzionale (Functional Cluster Analysis, nel seguito FCA) alla base dati costituita dai campi di concentrazione prodotti su tutto il territorio regionale per gli anni 2005, 2006, 2007, 2008 e 2009 dal sistema modellistico di trasporto, dispersione e trasformazione chimica di inquinanti in atmosfera, utilizzato da ARPA Piemonte. Tale analisi è stata condotta considerando solamente PM10 e NO<sub>2</sub>, attualmente gli inquinanti più critici.

Il confronto tra la prima ipotesi di zonizzazione (Figura 2) e il risultato della *Functional Cluster Analysis* (Figura 3) ha messo in evidenza la necessità di rivedere l'assegnazione di alcuni territori comunali situati al confine tra la zona altimetrica di montagna e quella di collina, nonché tra quella di montagna e quella di pianura. I criteri utilizzati per le variazioni sono stati i seguenti:

- a) valore del *cluster*;
- b) densità abitativa maggiore di 50 ab/km<sup>2</sup>;
- c) densità emissiva maggiore di 1 t/km<sup>2</sup> relativamente ad almeno due inquinanti tra PM10 NOx ed NH<sub>3</sub>.

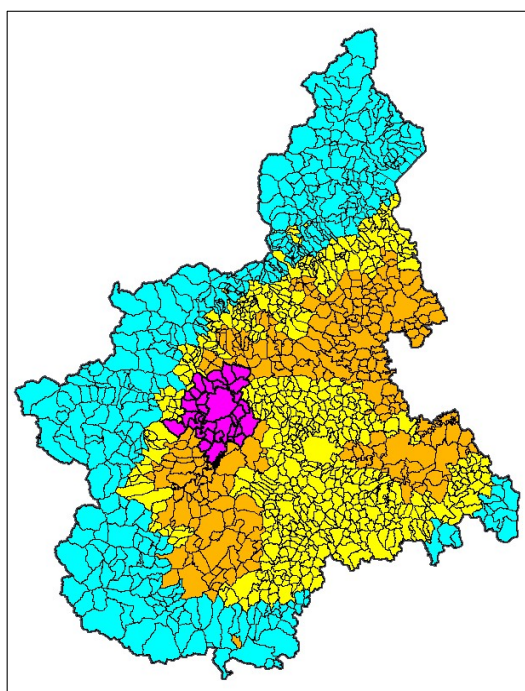


Figura 2 – Prima ipotesi di zonizzazione.

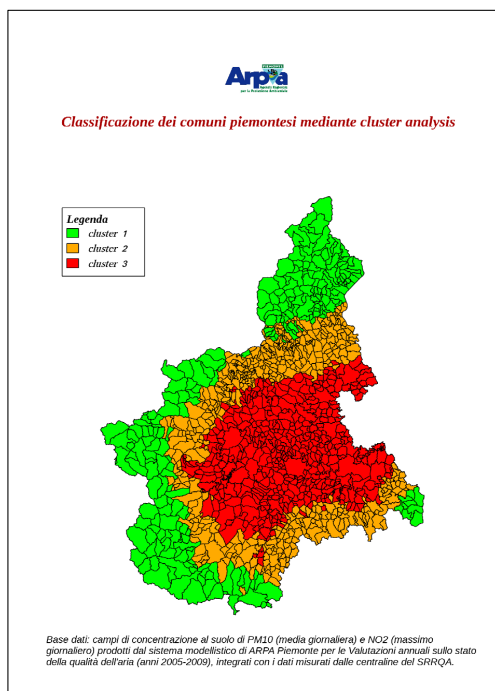


Figura 3 – Suddivisione del territorio secondo l'indice BC normalizzato sulla soglia di valutazione superiore (aggregazione su base comunale con il 90° percentile della serie spaziale dei punti griglia) – Elaborazione ARPA Piemonte.

In particolare tutti i comuni di montagna con cluster diverso da 1 sono stati assegnati alla zona limitrofa (collina o pianura). Inoltre tutti i comuni contigui (aventi una densità abitativa maggiore di 50 ab/km<sup>2</sup> oppure una densità emissiva, relativamente ad almeno due inquinanti tra quelli esaminati (PM10 NOx ed NH<sub>3</sub>), maggiore di 1 t/km<sup>2</sup> sono stati assegnati alla zona limitrofa (collina o pianura). Con questo procedimento è stata individuata una zona montana che presenta concentrazioni degli inquinanti presi in esame inferiori alla soglia di valutazione superiore. Infine, i due capoluoghi della provincia di Biella e di Asti, che, secondo la classificazione ISTAT, ricadono in collina, sono stati assegnati alla zona di pianura sia per l'elevata densità abitativa ed emissiva sia per la loro contiguità con la pianura. Dalla sovrapposizione della *Functional Cluster Analysis* alla prima ipotesi di zonizzazione non è invece emersa la necessità di modificare la delimitazione dell'agglomerato, che si è deciso essere quello relativo ai 32 comuni.

Sulla base delle carte prodotte e dei vari fattori analizzati sono state quindi individuate le seguenti quattro zone:

|                             | u.m.               | Agglomerato Torino<br>IT0118 | Zona pianura<br>IT0119 | Zona collina<br>IT0120 | Zona montagna<br>IT0121 | Totale    |
|-----------------------------|--------------------|------------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-----------|
| N° Comuni                   |                    | 32                           | 269                    | 660                    | 245                     | 1.206     |
| Popolazione                 |                    | 1.555.778                    | 1.326.067              | 1.368.853              | 195.532                 | 4.446.230 |
| Superficie Comuni           | km <sup>2</sup>    | 838                          | 6.595                  | 8.811                  | 9.144                   | 25.389    |
| Densità abitativa           | ab/km <sup>2</sup> | 1.856                        | 201                    | 155                    | 21                      | 175       |
| Densità em. PM10            | t/km <sup>2</sup>  | 3,57                         | 0,78                   | 0,55                   | 0,13                    | 0,56      |
| Densità em. NO <sub>x</sub> | t/km <sup>2</sup>  | 16,68                        | 3,70                   | 2,36                   | 0,34                    | 2,45      |
| Densità em. COV             | t/km <sup>2</sup>  | 19,44                        | 3,11                   | 4,18                   | 2,05                    | 3,64      |
| Densità em. NH3             | t/km <sup>2</sup>  | 2,76                         | 4,02                   | 1,03                   | 0,19                    | 1,56      |

*Tabella 1 – Principali caratteristiche dell'agglomerato e delle tre zone.*

Dai dati riportati in Tabella 1 si evidenzia come la popolazione insediata nelle aree classificate come agglomerato, zona Pianura e zona Collina rappresenti la quasi totalità della popolazione della regione.

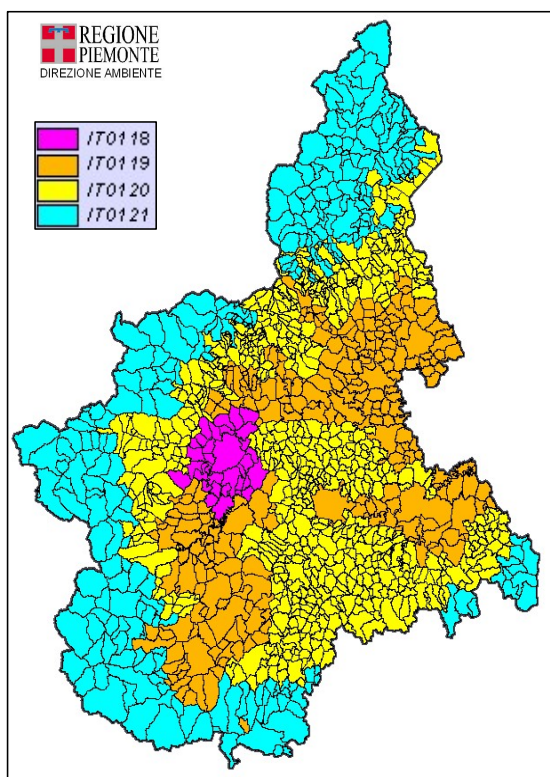


*Figura 4 – Rappresentazione grafica della nuova zonizzazione.*



Tali zone, sintetizzate nella Figura 4, sono quindi le aree sui cui verrà predisposto il programma di valutazione della qualità dell'aria e che verranno considerate nella definizione della nuova rete di misura della Regione Piemonte.

### **Conclusioni**

Il quadro normativo istituito dal D.lgs. 155/2010 intende portare ad una valutazione della qualità dell'aria ambiente basata su metodi e criteri comuni su tutto il territorio nazionale; la zonizzazione del territorio è il presupposto su cui si organizza tale attività di valutazione.

La nuova zonizzazione non solo permetterà di ottenere una valutazione anno per anno della qualità dell'aria, individuando in maniera più dettagliata le aree di superamento dei livelli minimi di emissioni, i fattori che condizionano i superamenti e le sorgenti su cui agire, ma consentirà anche di ridimensionare, in termini di apparecchiature e quindi anche di costi di manutenzione, l'intera rete di rilevamento regionale delle stazioni di rilevamento fisse.

Si auspica che il processo di zonizzazione su tutto il territorio nazionale sia presto completo in modo da poter supportare politiche armonizzate anche a livello di territorio extra-regionale e costituire un punto di forza anche verso la realtà transfrontaliera (vedasi ad esempio il progetto AERA a cui partecipa la Regione Piemonte).

### **Riferimenti bibliografici**

Secco C., Di Savino S., Menetto G., Gallo S., Arduino G., Amadore G. (2009). "Spazializzazione delle emissioni in atmosfera in Piemonte", *Atti 13a Conferenza ASITA 2009*, 1 – 4 dicembre 2009, Bari, pag. 1737

"Classificazione in agglomerati e zone in Regione Piemonte". Regione Piemonte Direzione Ambiente, gennaio 2010

AERA – Ari Environment Regions ALCOTRA (2007-2013), *Obiettivo Cooperazione territoriale europea Italia-Francia (Alpi) 2007-2013*, "Scheda di progetto" e "Descrizione tecnica di dettaglio"



## **i-Tour: un client 3D per dispositivi portatili a supporto della mobilità urbana sostenibile**

Giuseppe Conti, Daniele Magliocchetti, Federico Devigili, Raffaele De Amicis

Fondazione Graphitech, Via Alla Cascata 56C, Trento 38123, Italy  
Tel. +39 0461 283394, Fax +39 0461 283398

### **Abstract**

i-Tour "intelligent Transport system for Optimized URban trips" è un progetto finanziato dalla Commissione Europea attraverso il settimo Programma Quadro il cui scopo è realizzare un'infrastruttura aperta ed interoperabile per la messa in esercizio, da parte degli operatori di trasporto pubblico, di servizi web compatibili con gli standard OGC al fine fornire ai cittadini servizi di mobilità intelligente multi-modale. In particolare il progetto ha sviluppato un software client per dispositivi mobili (Smartphone) la cui interfaccia è 3D progettata per sostenere e suggerire, attraverso interfacce di semplice utilizzo, l'uso di diverse forme di trasporto (autobus, auto, ferrovia, tram, ecc), tenendo in considerazione le preferenze degli utenti, nonché informazioni in tempo reale sulle condizioni del traffico, delle condizioni meteorologiche, dello stato delle diverse reti di trasporto pubblico utilizzate dall'utente. Inoltre, attraverso il client 3D, i-Tour promuove un nuovo approccio alla raccolta di dati basato sul crowdsourcing e su un sistema di raccomandazione che fornisce indicazioni su possibili scelte di viaggio sulla base delle informazioni fornite dalla comunità degli utenti del sistema. Il client, realizzato per la piattaforma Android, supporta numerosi standard OGC tra cui WMS, WFS; nonché OpenLS per quanto riguarda le funzionalità di instradamento dell'utente. I dati provenienti dai servizi OGC possono essere visualizzati in 3D ed in Realtà Aumentata, proiettando, al di sopra delle immagini catturate dalla telecamera dello Smartphone, i dati provenienti dai servizi dell'infrastruttura server. Il client i-Tour è stato progettato per promuovere l'uso del trasporto pubblico, favorendo scelte di trasporto sostenibile e prevedendo meccanismi premiali per gli utenti che scelgono soluzioni di viaggio basate sull'utilizzo della rete di trasporto pubblico.

### **Abstract**

*i-Tour "intelligent Transport System Optimized for Urban trips" is a project funded by the European Commission through the Seventh Framework Programme which aims to create open and interoperable infrastructure for the commissioning, by operators of public transport, Web services compatible with the OGC to provide citizens with services for intelligent multi-modal mobility. In particular, the project has developed a software client for mobile devices (Smartphones), whose 3D interface is designed to support and recommend, through easy to use interfaces, the use of different forms of transport (bus, car, train, trams, etc. ), taking into account user preferences, and real-time information on traffic conditions, weather conditions, state of the various public transport networks used by the user. In addition, through the 3D client, i-tour is promoting a new approach to data collection based on crowdsourcing and a recommendation system that provides information on possible travel choices based on information provided by the community of users of the system. The client, designed for the Android platform, supports multiple standards including OGC WMS, WFS, and OpenLS regarding the routing capabilities of the user. The data from the OGC services can be viewed in 3D and Augmented Reality, projecting, beyond the images captured by camera Smartphone, the data from the server infrastructure services. The i-Tour client was designed to promote the use of public transport, promoting sustainable transport choices and providing incentive schemes for users who choose sustainable travel solutions based on the use of public transport.*

## Introduzione

Le amministrazioni locali, i governi e le istituzioni internazionali, come la Comunità Europea, stanno prestando un crescente impegno per migliorare la mobilità personale attraverso l'utilizzo di mezzi di trasporto pubblici in ambiente urbano. Migliorare la mobilità delle persone attraverso la promozione dell'utilizzo dei mezzi pubblici ha numerosi vantaggi in termini di riduzione del consumo di energia, la quantità di sostanze inquinanti nell'aria, di ridurre il traffico cittadino e aumentare la sicurezza stradale. Ridurre il trasporto su strada privati porta numerosi benefici, non solo alla qualità della vita dei cittadini e alla sanità pubblica, ma anche all'efficienza dell'intero sistema urbano con conseguenti, sostanziali, benefici economici a livello sociale. Basandosi su questo concetto, questo articolo, presenta un software per l'assistenza alla mobilità personale (Personal Mobility Assistant), cioè un'applicazione per smartphone e tablet che promuove l'utilizzo dei mezzi pubblici aiutando l'utente nell'identificare la migliore soluzione di viaggio calcolata su una rete di trasporti multimodale attraverso un'interfaccia semplice ed intuitiva che si adatta in modo intelligente alle preferenze dell'utente ed al contesto di utilizzo dell'applicazione. Particolare attenzione è stata volta al rispetto degli standard OGC; gli scambi di informazione tra server e client avvengono -quando possibile- attraverso gli standard OGC. Il client realizzato per la piattaforma Android supporta infatti gli standard WMS, WFS e OpenLS (Open Location service). Per soddisfare le esigenze di progetto si sta inoltre sviluppando un'estensione dello standard OpenLS.

## Motivazioni

Il trasporto privato ha un enorme impatto negativo sia in termini economici che ambientali. Come descritto da Rodrigue et al. [3], il trasporto ha un effetto diretto sul cambiamento climatico, la biodiversità della specie, il rumore ambientale, la qualità dell'aria, la qualità dei terreni e delle falde acquifere. Solo in Europa il trasporto di persone e merci, è responsabile, secondo l'Agenzia per l'ambiente Europea (EEA), di quasi un terzo dei consumi di energia e di più di un quinto delle emissioni di CO<sub>2</sub>. Secondo i dati di Eurostat, l'ufficio statistico della Comunità Europea, su nove dei 32 stati membri dell'EEA più dell'85% dei trasporti personali è portato a termine con l'utilizzo di automobili private. Il risultante numero di veicoli su strada risulta estremamente elevato anche a causa del basso livello di occupazione medio, che, nel 2007, è stato di 1,8 passeggeri nei paesi dell'est Europa e 1,54 in quelli occidentali. Il problema è destinato a peggiorare dato che, secondo i modelli di previsione per il 2050 di IEA/SMP (International Energy Agency / Sustainable Mobility Project), la richiesta di trasporto in termini di numero di chilometri percorsi crescerà in continuazione. Infatti, più di metà degli stati membri dell'EEA hanno registrato un incremento del trasporto basato su automobile ed un incremento nel numero di automobili possedute di circa il 2% annuo, che ha portato nel 2009 ad una media del 42% di possessori di auto tra i paesi Europei. Il livello di innalzamento del numero di auto è strettamente legato al livello economico dei paesi. In paesi come l'Italia, la Germania, la Francia, l'Inghilterra e la Spagna il numero di auto presenti sul territorio negli ultimi anni si è ridotto. Mentre in paesi con economie emergenti, come la Lituania, l'utilizzo di auto per il trasporto personale è raddoppiato nell'ultima decade. Sfortunatamente l'aumento generalizzato della richiesta di trasporto su terra corrisponde ad una riduzione di utilizzo dei mezzi pubblici, come treni e bus. Infatti, come annunciato dall'EEA, "L'aumento del 20% della domanda tra il 1995 ed il 2008 rende estremamente difficile stabilizzare o ridurre l'impatto ambientale degli autotrasporti" [1].

In città come Londra, Parigi e Roma, l'impatto del trasporto su strada ha gravi conseguenze in termini di livelli di inquinamento; queste città hanno i peggiori livelli di qualità dell'aria nell'UE. Secondo l'EEA [4], l'autotrasporto è di gran lunga il più inquinante mezzo di trasporto rispetto ai chilometri percorsi, superando altri mezzi, a seconda dei parametri di valutazione, di più di un ordine di grandezza. Infatti, l'autotrasporto è il principale responsabile di emissioni di **NO<sub>x</sub>**, il secondo per le emissioni di **PM<sub>2.5</sub>** ed altri gas come il CO ed il terzo per le emissioni di **PM<sub>10</sub>**. I

miglioramenti ottenuti con lo sviluppo di motori e carburanti più efficienti è parzialmente contrastato dall'aumento dei veicoli su strada.

Gli autotrasporti sono anche responsabili di numerosi decessi. E' stato stimato che gli incidenti stradali hanno causato nel 2004 1.2 milioni di morti in tutto il mondo, la maggior parte dei quali, il 90%, nei paesi a basso PIL. Secondo l'Istituto Canadese per l'Informazione sulla Salute, le collisioni tra veicoli sono la sesta causa di morte negli USA e sono responsabili per il 48% dei feriti gravi in Canada. Dati simili sono riportati in Europa. Secondo l'Eurostat, nell'EEA32 il numero annuale di morti causati dagli autotrasporti era vicino a 42,000 nel 2007 rispetto a meno di 90 morti causate dalla somma di trasporto su rotaia e voli aerei. Uno studio datato 2004 dell'EEA [2] mostra che, anche se la consapevolezza degli effetti e le implicazioni dell'autotrasporto personale, nella popolazione Europea, è significativo; il comportamento degli individui che sostengono di esserne a conoscenza è spesso non eco-sostenibile. Il fattore cruciale per rendere i comportamenti delle persone più eco-sostenibile è rendere i trasporti pubblici più allettanti all'utente finale. Questo concetto è al cuore del problema che il software, i-Tour, finanziato dalla Comunità Europea, presentato in questo articolo, cerca di risolvere.

### **Il progetto i-Tour**

Il progetto i-Tour - "Intelligent Transport System for Optimised Urban Trips" è volto a sviluppare un'infrastruttura intelligente per assistere la navigazione personale attraverso una rete di trasporto multimodale. I client sono stati specificatamente sviluppati per favorire l'utilizzo dei mezzi pubblici. Per facilitare l'accesso alle informazioni di viaggio contestualizzate il sistema i-Tour prende in prestito metodologie tipiche dell'intelligenza ambientale per offrire un'interazione più naturale con il sistema centrale. Inoltre il client, per incoraggiare l'utilizzo dei mezzi pubblici, propone una serie di incentivi agli utenti finali sotto forma di "Serious Games" ed un sistema di premi basato sul comportamento sostenibile degli utenti, premiando gli utenti in grado di viaggiare minimizzando l'impatto ambientale e l'impatto sulla viabilità urbana optando per i mezzi pubblici piuttosto che quelli privati.

Il progetto i-Tour si avvale di una serie di soluzioni tecnologiche innovative. La visualizzazione delle rotte e delle tratte avviene attraverso diverse interfacce; la classica mappa bidimensionale è stata ampliata con una vista globale 3D interattiva ed un'ulteriore vista in prima persona in realtà aumentata che permette di analizzare le aree circostanti e accedere alle informazioni relative. Tali viste fanno uso delle classiche metafore di interazione, icone e linee rappresentano punti di interesse e percorsi suggeriti; informazioni aggiuntive sono disponibili in menu contestuali. Ma non manca l'interfaccia a gesti in grado di assistere l'utente quando un'interfaccia comune risulti di difficile utilizzo. L'utente è in grado in ogni momento di passare dalla vista bidimensionale alla vista tridimensionale semplicemente inclinando il dispositivo mobile; se l'utente porta il dispositivo in posizione verticale l'applicazione passa alla vista in realtà aumentata attivando la telecamera integrata e disegnando in sovrapposizione i punti d'interesse e le indicazioni stradali.

Una vista aggiuntiva basata su un grafico radiale bidimensionale permette di visualizzare percorsi multipli simultaneamente; quando l'utente seleziona una destinazione di viaggio, in base alle preferenze impostate, il grafico visualizza, se sono disponibili, soluzioni multiple. Al centro del grafico radiale si trova il punto rappresentante la posizione attuale dell'utente. I punti più esterni rappresentano nodi di scambio in posizioni differenti, la distanza dal centro di ogni punto può rappresentare informazioni differenti. La più classica può essere la distanza in tempo dal punto centrale, ma se l'utente preferisce minimizzare lo spazio percorso il grafico si baserà su questa caratteristica dei nodi di scambio; altre possibili caratteristiche possono essere la qualità del servizio

oppure la quantità di **CO<sub>2</sub>** emessa da quella particolare soluzione di viaggio. I collegamenti tra i vari nodi di scambio rappresentano le possibili scelte che l'utente può intraprendere durante il viaggio. Quello che viene a crearsi è un albero che si estende dal centro del grafo dove ogni foglia finale rappresenta una differente soluzione di viaggio. Anche in questa vista l'utente è in grado di

visualizzare informazioni contestuali aggiuntive interagendo con i link tra i nodi o con i nodi stessi. La qualità del servizio, eventuali ritardi, e lo stato di occupazione dei mezzi sono mappati sulle linee e i punti della soluzione di viaggio attraverso colori e dimensioni. Tale interfaccia permette di individuare immediatamente la migliore soluzione e stabilire attraverso i colori dei collegamenti se esistono problemi su quella specifica linea. Un utente potrebbe preferire una soluzione di viaggio leggermente più lunga o meno eco-sostenibile a una con caratteristiche migliori ma dove i mezzi di trasporto sono pieni e quindi offrono una qualità di viaggio inferiore. Una parte fondamentale del progetto è il motore di routing, eseguire l'indirizzamento su un network stradale classico è relativamente semplice, ogni link possiede una velocità media stimata e non sono previste pause o attese, risulta quindi semplice trovare una buona soluzione con i classici algoritmi di percorso più breve (shortest path). In un motore multimodale bisogna in primis collegare vari network di collegamenti e creare un unico grafo in grado di rappresentare tutti i network; bisogna inoltre tenere presente gli orari dei mezzi pubblici, quindi dell'orario di viaggio, oltre a questo i-Tour tiene presente di eventuali problemi sui collegamenti, ritardi, e la qualità del servizio in genere.

### **Lavori d'interesse**

I sistemi di navigazione sviluppati fino ad oggi sono stati sviluppati essenzialmente per la navigazione personale in automobile con alcuni software specifici per sottocategorie (ad es. ciclisti). Tali sistemi sono usualmente legati ad un singolo sistema di navigazione (auto, bicicletta). Poca attenzione è stata rivolta fino ad ora a creare un sistema multimodale basati ad esempio su punti di riferimento o all'integrazione di reti di trasporti differenti (es: treno, bus, auto). CityAdvisor (<http://www.cityadvisor.net/>) è un'applicazione per telefoni Windows Mobile 6.0 che fornisce la navigazione sulla rete di trasporto pubblico sulla base delle indicazioni e dei simboli di linee [5]. Le indicazioni fornite sono essenzialmente l'elenco ordinato di viaggio che l'utente deve prendere per arrivare a destinazione, senza fornire né la navigazione su come raggiungerli, né le modalità di transito tra i diversi segmenti di viaggio. Inoltre il sistema non fornisce alcuna raccomandazione in base alle preferenze degli utenti specifici né un meccanismo basato su aggiornamenti è stato messo in atto. Diversi studi hanno cercato di creare applicazioni mobile cercando di incentivare l'uso di scelte di trasporto sostenibile. Uno studio portato avanti negli Stati Uniti [6] ha dimostrato che "Se gli ostacoli all'uso dei mezzi pubblici potessero essere superati si potrebbero usare motivi diversi dall'eco-sostenibilità per convincere le persone ad adottare comportamenti sostenibili". Lo studio ha evidenziato che, mentre solo una minoranza (19%) degli intervistati considera l'eco-sostenibilità di viaggio come una delle loro priorità, la stragrande maggioranza (72%) ha dichiarato che sarebbero disposti a fissare obiettivi di per viaggiare in modo più "verde". Gli autori sottolineano l'importanza di adottare rappresentazione iconica, piuttosto che numerica, portando vantaggi quali la suggestione o l'estetica.

Quando si fa riferimento alla letteratura scientifica nell'ambito della consapevolezza contestuale, l'intelligenza ambientale e l'interazione multimodale; la ricerca si è concentrata sullo sviluppo di tecniche capaci di identificare il maggior numero possibile di informazioni contestuali. Una rilevante ricerca svolta da Korpipää et al. [7] ha permesso lo sviluppo di un "Context managing Framework" che usa un gestore di contesto ed un insieme di risorse e sistemi di ricognizione che diventano eventualmente l'interfaccia dell'applicazione finale.

Altri middleware sono SOCAM (Service Oriented Context Aware Middleware) [8] utilizzato per la creazione di applicazioni mobile "Context-Aware". CASS (Context Aware Sub-Structure) [9] è un middleware simile in grado di recuperare informazioni da diversi sensori distribuiti, raccogliarli e interpretarli. Un altro sistema specializzato nella "context awariness" per i dispositivi mobili è Hydrogen [10] che distingue tra contesto locale e remoto, il primo è estrapolato dai dati disponibili sul dispositivo mobile, il secondo è generato dai dati di tutti i dispositivi mobile collegati al sistema. CORTEX è invece un sistema basato su un modello ad oggetti senzienti [11] specificamente progettato per soddisfare i requisiti in uno scenario mobile.

Una grande quantità di documenti di ricerca è disponibile nel campo della cosiddetta intelligenza ambientale, in cui il comportamento degli utenti è stato monitorato in ambienti-intelligenti chiusi e molto controllati. Una crescente attenzione viene prestata ai comportamenti degli utenti in movimento, soprattutto per il monitoraggio sanitario. Alcuni esempi sono il lavoro di Consolvo et al.[12] che fanno uso di telefoni cellulari collegati via Bluetooth alle unità di controllo portatili per il rilevamento di valori biologici. Le informazioni sui movimenti vengono utilizzate dal telefono cellulare per creare incentivi all'attività fisica e stili di vita sani. Altre applicazioni simili fanno uso di unità di rilevazione esterna [13]. Diversi lavori di ricerca fanno uso di informazioni provenienti dai sensori montati sui cellulari, come nel caso di WISDM (Wireless Sensor Data Mining) [14] in cui vengono utilizzati i telefoni Android per rilevare attività come camminare, fare jogging, salire o scendere le scale o rimanere stazionari (ad esempio, seduti o in piedi). Le informazioni sono state campionate ad una frequenza di 20Hz. Le registrazioni sono state suddivise in spezzoni di 10 secondi ognuna utilizzata successivamente per valutare il comportamento dei 6 valori analizzati, cioè l'accelerazione media per ogni asse, la deviazione standard per ogni asse, la differenza assoluta media, l'accelerazione media risultante, il tempo tra i picchi (Il tempo tra i picchi di un pattern sinusoidale associato all'attività per ogni asse). Tipicamente i parametri relativi ad ogni contesto sono definiti in tuple attributo-valore. Ogni sensore genera tuple con informazioni su ogni misura. Molti componenti agiscono in maniera unimodale e trasferiscono quindi le informazioni ad aggregatori a più alto livello che inferiscono lo stato finale in base al contesto. Sono state sviluppate tecniche per estrarre informazioni dai dati storici dei sensori ed utilizzare queste informazioni per inferire più correttamente il contesto corrente.

Approcci simili sono stati sviluppati dalla comunità scientifica per le interazioni multimodali. In questo contesto con il termine "multimodali" andiamo ad indicare la possibilità di interagire con un'interfaccia software attraverso differenti modalità di interazione (es. voce, gesti, sguardo). Al contrario dei trasporti multimodali che si riferiscono a viaggi basati su differenti mezzi di trasporto. Molti studi hanno esplorato tecniche per "fondere" informazioni provenienti da sensori unimodali in azioni multimodali più articolate. Il problema è in realtà simile a quello affrontato dall'area di ricerca del "Context Awareness" e cerca di capire ed interpretare la combinazione di comandi in base al contesto dell'utente. Un certo numero di "Tecniche di Fusione" sono state sviluppate come si può leggere nella letteratura, [15]. Tra i più famosi sistemi troviamo la "fusione semantica"[16][17], il metodo MTC (Members-Teams-Committee) [18] così come altre tecniche statistiche. L'adozione di un'interfaccia multimodale sui dispositivi mobile permette di ottenere una maggiore ergonomia attraverso l'adozione di interazioni più naturali e un'interfaccia adattabile.

È importante sottolineare che i-Tour essendo un PMA (Personal Mobility Assistant) multimodale ha una serie di requisiti aggiuntivi usualmente non richiesti da sistemi di navigazione standard. I-Tour deve essere in grado non solo di fornire la strada più breve su una rete stradale semplice ma dovrà analizzare reti multimodali, quindi il sistema, e più specificatamente la sua interfaccia, sono state progettate per favorire l'utilizzo dei mezzi pubblici e le tratte più ecosostenibili. Per calcolare la rotta migliore in una network complessa, come potrebbe essere quella di Londra o Parigi, è necessario tenere presente che una destinazione può essere raggiunta in svariati modi. Questo è particolarmente importante quando l'infrastruttura deve essere in grado di gestire informazioni in tempo reale sulla posizione e lo stato di occupazione dei veicoli o la qualità del servizio.

### **Multi Level Contextual Awareness**

L'interfaccia di i-Tour si adatta al contesto nel quale l'utente si trova (auto, passeggio, bici, treno); le informazioni sono generate da un sistema di rilevazione che inferisce le informazioni da tutti i sensori disponibili sul dispositivo. I "sensori" vanno visti come qualsiasi fonte di informazione utile a capire l'attuale stato dell'utente. Sensori veri e propri come gli accelerometri ed il GPS sono utili ad analizzare velocità e posizione dell'utente, ma allo stesso modo analizzando la potenza del segnale GPS possiamo capire se l'utente si trova all'interno di un edificio o all'aperto. Il sistema di riconoscimento dello stato corrente funziona a livelli. A livello più basso il sistema registra i dati

dai sensori a frequenza costante, sulla base di questi dati e dei dati di allenamento registrati in precedenza, il modulo di riconoscimento calcola le probabilità per ogni contesto per ogni sensore. Infine, queste probabilità vengono passate al modulo di fusione che combina i risultati per ogni sensore. Al fine di adattare il sistema alle esigenze del singolo utente, nonché alle differenze tra i sensori dei diversi dispositivi, il motore di riconoscimento può essere istruito con vettori di correzione specifici. Quando il sistema ha determinato un contesto con una soglia di sicurezza differente l'interfaccia di i-Tour cambia per adattarsi al nuovo contesto. Per esempio se l'utente è fermo l'interfaccia può diventare più complessa e dettagliata e mostrare funzionalità aggiuntive. Se l'utente si sta muovendo a piedi sarà più complesso interagire con il dispositivo quindi l'interfaccia si adatterà rimuovendo le funzioni superflue ed adattando le zone di input. Se il sistema è in grado di rilevare anche su quale particolare mezzo stiamo viaggiando l'interfaccia può essere contestualizzata più efficacemente; ad esempio in bicicletta il feedback visivo dovrebbe essere ridotto al minimo passando ad un'interfaccia sonora quando possibile. Se l'auricolare non è collegato si dovrebbero utilizzare suoni precisi ad esempio per segnalare la fine del viaggio o altri eventi. Con l'auricolare collegato gli eventi potrebbero essere descritti più in dettaglio da una voce registrata. Se il dispositivo non è in mano o a contatto dell'utente i feedback vibro-tattili dovrebbero essere disabilitati (es. Quando il dispositivo è su un supporto). Va fatto notare che l'utente deve essere in grado di ritornare all'interfaccia standard in maniera facile e veloce, sia per compensare errori da parte del sistema di riconoscimento del contesto sia per lasciare all'utente la libertà di interagire indipendentemente dal contesto in cui si trova.

### **Conclusioni e Sviluppi Futuri**

La combinazione di un sistema di navigazione multimodale con un'interfaccia innovativa e adattabile con un insieme di servizi adatto ad assistere il viaggiatore rappresenta un approccio innovativo al problema della mobilità personale che va oltre il semplice navigatore satellitare. Altre estensioni del sistema prevedono lo sviluppo di interfacce di gioco volte sempre a favorire l'utilizzo del mezzo pubblico attraverso premi acquisiti attraverso l'adozione di modalità di viaggio eco-sostenibili, successivamente utilizzabili nei giochi per ottenere bonus o oggetti. In quest'area è complesso riuscire a creare un gioco che favorisca comportamenti sostenibili senza trasformare il gioco in una noiosa corsa ai punti. Si stanno valutando varie strategie per creare esperienze di gioco piacevoli attraverso la collaborazione degli utenti e la competitività per favorire l'apprendimento delle problematiche dell'eco-sostenibilità dei trasporti oltre che rendere la scelta del trasporto pubblico un'opzione meno tediosa e più piacevole.

### **Riconoscimenti**

Il lavoro presentato in questo articolo ha ricevuto un finanziamento dalla Commissione Europea attraverso il settimo programma quadro (GA n. 234239) nel contesto del progetto i-Tour "intelligent Transport system for Optimised Urban trips".

### **References**

1. Transport statistics (Eurostat), published on 20 Jan 2009
2. European Environment Agency (2004). TERM 2004 40 – Public Awareness and Behavior.
3. J.-P. Rodrigue, C. Comtois, B. Slack (2009). The Geography of Transport Systems. Routledge.
4. EEA (European Environment Agency). Report No 2/2010
5. A. Smith. 2010. Mobile Access 2010.
6. J. Froehlich, T. Dillahunt, P. Klasnja, J. Mankoff, S. Consolvo, B. Harrison, and J. A. Landay. 2009. UbiGreen: investigating a mobile tool for tracking and supporting green transportation habits. In Proceedings of the 27th international conference on Human factors in computing systems (CHI '09). ACM, USA, 1043-1052.



7. Korpipää, P. and Mäntyjärvi, J. 2003. An ontology for mobile device sensor-based context awareness, *Proceedings of CONTEXT, 2003*, Vol. 2680 of Lecture Notes in Computer Science, pp.451–458.
8. Gu, T., Pung, H.K. and Zhang, D.Q. 2004. A middleware for building context-aware mobile services, *Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference (VTC)*, Milan, Italy.
9. Fahy, P., Clarke, S. 2004. CASS – a middleware for mobile context-aware applications, *Work. on Context Awareness, MobiSys 2004*.
10. Hofer, T., Schwinger, W., Pichler, M., Leonhartsberger, G. and Altmann, J. 2002. Context-awareness on mobile devices – the hydrogen approach, *Proceedings of the 36th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, pp.292–302.
11. Biegel, G. and Cahill, V. 2004. A framework for developing mobile, context-aware applications, *Proceedings of the 2nd IEEE Conference on Pervasive Computing and Communication*, pp.361–365.
12. S. Consolvo, D. W. McDonald, T. Toscos, M. Y. Chen, J. Froehlich, B. Harrison, P. Klasnja, A. LaMarca, L. LeGrand, R. Libby, I. Smith, and J. A. Landay. 2008. Activity sensing in the wild: a field trial of ubifit garden. In *Proceeding of the twenty-sixth annual SIGCHI conference on Human factors in computing systems (CHI '08)*. ACM, USA, 1797-1806.
13. Choudhury T., Consolvo S., Harrison B., Hightower J., LaMarca A., LeGrand L., Rahimi A., Rea A., Bordello G., Hemingway B., Klasnja P., Koscher K., Landay J.A., Lester J., Wyatt D., Haehnel D. 2008. The Mobile Sensing Platform: An Embedded Activity Recognition System. In *Pervasive Computing, IEEE*, Volume: 7 Issue:2, pp 32-41, Issue Date: April-June 2008,
14. J R Kwapisz, G M Weiss, S A Moore. 2010. Activity Recognition using Cell Phone Accelerometers. In *Human Factors*, pp. 10-18.
15. D. Lalanne, L. Nigay, P. Palanque, P. Robinson, J. Vanderdonckt, and J.-F. Ladry. 2009. Fusion engines for multimodal input: a survey. In *Proceedings of the 2009 international conference on Multimodal interfaces (ICMI-MLMI '09)*. ACM, USA, 153-160.
16. Wu, L., Oviatt, S. and Cohen, P. R. 1999. Multimodal integration: a statistical view, *IEEE Trans. on Multimedia*, Vol.1(4), pp. 334-342.
17. Johnston, M. et al. 1997. Unification-based multimodal integration. Madrid, Spain : Association for Computational Linguistics, 1997. *Proc. of the eighth conference on European chapter of the Association for Computational Linguistics*. pp. 281-288.
18. Gee J. P. 2003. What video games have to teach us about learning and literacy. In *Computers in Entertainment*, Vol.1(1), ACM.



## **Il Paesaggio Urbano di Pompei: Rappresentazione Multiscalare e Multidimensionale**

Fabio Converti, Piera Della Morte

Le cartografie sono disegni con carichi di informazioni cioè *biodisegni*, geografia del passato e geografia del presente, infinite dimensioni della natura che bisogna cercare di catturare.

La topografia è letteralmente la scrittura grafica dei luoghi: in effetti oggi le carte topografiche sono dei modelli perfezionati e spesso indispensabili per capire come sono conformati i dintorni di una città.

La scuola paesistica, francese ed italiana in particolare, per la quale il paesaggio implica un dualismo fertile tra realtà e rappresentazione, tra dimensione oggettiva e soggettiva della percezione delle cose, tra la “natura” e la sua re-interpretazione antropica. Questa direttrice del pensiero, cara ai rappresentanti, porta a definizioni che pongono in evidenza l’aspetto culturale e sociale del paesaggio come deposito collettivo di valori, per cui “ogni paesaggio è un’elaborazione culturale di uno specifico ambiente naturale” (Sereni, 1983) o “il farsi di una certa società in un certo territorio” (Sereni, 1961).

Le diverse forme di rappresentazione della architettura, della città e del territorio costituiscono fonti di informazioni e di conoscenza storica, particolarmente ‘delicate’ e spesso ambigue nel loro apparente essere esplicite, nel quale si richiedono affinate capacità critiche di interpretazione.

La centralità assunta ormai da alcuni anni sullo studio del land use, sconta però storicamente la mancanza di fonti informative omogenee, capaci di descrivere e interpretare esaustivamente le principali dinamiche in atto.

Pertanto, obiettivo della ricerca non è la verità storica, non è fissare all’oggi un situazione statica delle permanenze materiali, né mirare a ricostruire un supposto assetto “*originario*” dei luoghi, e nemmeno forzare l’individuazione di aspetti “*tipici*”, ma piuttosto la lettura delle tracce delle memorie inscritte nel paesaggio.

Si tratta di capire quali siano i processi fondativi delle matrici territoriali stratificate nei paesaggi urbani, per potere cogliere le modalità di formazione delle permanenze, le cause delle loro trasformazioni materiali o di significato, come pure le ragioni delle lacune o delle latenze causate dalle distruzioni.

La constatazione di come gli oggetti naturali stiano rivestendo un valore crescente, sia a livello globale che a livello locale, porta come conseguenza logica come la ricchezza di queste risorse nelle aree, delle possa costituire un forte valore aggiunto per il loro sviluppo sostenibile.

Un approccio che privilegia la dinamicità delle trasformazioni rispetto alla staticità delle permanenze, consente di impostare fin dagli inizi della ricerca un’attenzione specifica alla previsione delle ulteriori modificazioni del territorio.

In tale quadro, il richiamo ad un “*passato tradizionale*” emerge oggi con particolare evidenza negli spazi-tempi della rappresentazione della località, il che conduce a riconsiderare, prima di accingersi ad analizzare le relazioni, la complessità di questo contesto e le trasformazioni socio-economiche del paesaggio, che hanno determinato il quadro contemporaneo.

Quindi si impone un approccio multidisciplinare da applicare a partire dalla fase preliminare conoscitiva del contesto oggetto di studio, per creare ed esprimere un progetto culturale per uno sviluppo locale della comunità radicata nel territorio, che diventa territorio e tende a ricostruire con la terra quei legami, che la modernità ha dissolto.

Un concetto *interscalare*, dunque, ma anche tendenzialmente multi-dimensionale ed esplorativo che sollecita sia azioni di disgregazione dei contesti nei ampi segni seminaturali e storico-insediativi (che configurano geometrie riconoscibili e connotanti), sia la loro selettiva ri-composizione (con un approccio di tipo esplorativo) per cercare di decifrare le forme di relazione crescenti: alcune più chiare e visibili.

Per indagare matrici e regole dispositive dei diversificati componenti dello spazio, è utile partire da una rappresentazione delle forme del territorio fisico, per riportare in maniera specifica quelle realtà geomorfologiche relative al rilievo e alle molteplici componenti che fanno parte della configurazione dei paesaggi.

In questa prospettiva, la descrizione degli usi agricoli all'interno della città storica, consente di identificare paesaggi diversamente connotati. In questo settore d'analisi solitamente seguito dalla tradizione disciplinare, però, oltre che sottolineare prevalenze culturali e sistemi fondiari a questi associati, è necessario capire il loro collegamento spaziale in relazione al rilievo e all'insediamento, comprendendone le modificazioni intertemporali.

Ciò ci rimanda altresì l'utilizzo di *procedure* di definizione delle immagini *ortofotografiche e satellitari*, anche a carattere empirico, sempre riscontrate con indagini sul campo e implementate con un'ottica flessibile, aperta ad un continuo sistematizzazione delle categorie empiriche in campo. La caratterizzazione dei fenomeni in azione ci consente di rilevare i processi più significativi crescenti nella città contemporanea.

“La carta può essere utilizzata per un'indagine mirata, volta cioè a fornire una risposta ad uno specifico quesito o problema, oppure per un'analisi complessiva dell'area rappresentata. Nel primo caso la lettura punta direttamente a quegli elementi che interessano, interpretando i segni che racchiudono l'informazione cercata; nel secondo caso, si attua invece un esame che tuttavia richiede anch'esso un procedimento selettivo.”

Se si abbina a tali rappresentazioni, un raccolta d'immagini storiche e di brani significativi tratti dalla cartografia storica, siamo in grado per altri versi di individuare quei luoghi o quei singoli elementi dello spazio costruito e naturale depositatisi nel senso comune che in qualche maniera rinviano ai “valori” che hanno variamente contribuito alla costruzione dell'identità locale e del senso d'appartenenza delle comunità al territorio: luoghi rappresentativi, segni e protagonisti della storia sociale, testimonianze di pratiche lavorative del passato solo talvolta ancora vive nella memoria degli abitanti.

Tra gli elementi di criticità del sistema ambientale del comprensorio della Piana di Pompei sono da segnalare, oltre alle numerose situazioni di “*frangia*” urbana che caratterizzano in modo negativo gli spazi aperti di passaggio dal centro urbano alla aree agricole, la presenza di infrastrutture che creano fratture difficilmente superabili.

Le attività agricole, penalizzate dalla forte pressione insediativa, rivestono una particolare importanza, nei territori periferici verso la città di Angri con una forte presenza di impianti per la coltivazione di fiori, ma sono minacciati da un forte abbandono dei territori che comporta ad una progressiva eliminazione dei elementi caratteristici di interesse ecologico propri della campagna, mentre la larga diffusione di situazioni di uso temporaneo o improprio dei suoli costituiscono un ulteriore segnale della difficoltà di ricomposizione del sistema territoriale e sono indicatori della impossibilità di attivare processi di riproduzione della qualità ambientale attuabili mediante semplici forme di sostegno alle funzioni agricole o interventi di qualificazione di carattere puntuale. Pompei presenta ancora in alcune aree caratteri agricoli tradizionali, segnati anche dalla rete irrigua del fiume Sarno.

Si tratta di una pausa nel susseguirsi disordinato di insediamenti, una distesa di campi rimasti tali a causa della scelta di strumenti urbanistici poco specifici, e la mancata realizzazione di un porto canale, che avrebbe valorizzato l'intera area.

Qui la maglia geometrica dei campi appare chiaramente leggibile, con la costruzione di serre.

Quest'area costituisce un brano di paesaggio agrario significativo la cui importanza è messa in risalto dalla mancanza di caratteri distintivi degli insediamenti circostanti e dal fatto che costituisce

l'unico spazio aperto di dimensioni consistenti collegato al fiume e alla conurbazione di Angri-Sarno-Castellamare.

La relazione esistente tra il riutilizzo e la valorizzazione del patrimonio artistico e culturale, con particolare riferimento al patrimonio edificato, passa sempre più attraverso la stretta interrelazione tra diversi soggetti interessati alla estensione del valore culturale.

Per affrontare la "questione urbana" italiana è necessario un progetto di riconfigurazione fisica dei sistemi urbani che declini la dispersione insediativa in termini moderni, vale a dire rendendo raggiungibile l'obiettivo della sostenibilità ambientale e il consolidamento dei sistemi relazionali di ciascun sistema urbano.

Il "*paesaggio*" visto dal basso, dall'interno dei nodi centrali, quei nodi di attrito e di scambio tra funzioni e forze, è il paesaggio delle immagini frammentate che descrivono e testimoniano il divenire dei cambiamenti. Il disordine regola i nostri spazi, i nostri "*paesaggi*" lo rappresentano.

### Bibliografia

- Camagni R. (1996) *Lo sviluppo urbano sostenibile*, in Camagni R. (a cura di), *Economia e pianificazione della città sostenibile*, Il Mulino, Bologna;
- Clementi A., Dematteis G., Palermo P.C. (a cura di) (1996), *Le forme del territorio italiano*, Laterza, Roma-Bari;
- Dematteis G., (1995) "Immagine e identità urbana: metafore spaziali e agire sociale", in *Cru. Critica alla razionalità urbanistica*, n. 3, Roma;
- C. Gambardella e Sabina Martusciello (a cura di) (2007), *Le Vie dei Mercanti - Città Rete\_Rete di Città*, La scuola di Pitagora editrice – Napoli;
- C. Gianmarco, A. Isola, (1993), *Disegnare le periferie. Il progetto del limite*, La Nuova Italia Scientifica Roma;
- Magnaghi A. (a cura di) (2005), *La rappresentazione identitaria del territorio. Atlanti, codici, figure, paradigmi per il progetto locale*, Alinea, Firenze;
- Moretti A. (1999), *La produzione museale*, Giappichelli, Torino;
- M. Oddo, (2003) *Gibellina la nuova- Attraverso la città di transizione-* Universale di architettura collana fondata da Bruno Zevi, testo&immagine, Roma.





## **Stato dell'arte delle applicazioni laser scanning aereo a supporto della gestione delle risorse forestali in Italia**

Piermaria Corona (\*), Marco Marchetti (\*\*), Gianfranco Scrinzi (\*\*\*), Chiara Torresan (\*\*\*\*)

(\*) Dipartimento per la Innovazione nei Sistemi Biologici, Agroalimentari e Forestali  
Università degli Studi della Toscana, Via S. Camillo de Lellis s.n.c., I-01100 Viterbo, Tel. +39 0761 357425  
Fax +39 0761 357389, email: piermaria.corona@unitus.it

(\*\*) EcoGeoFor, Laboratorio di Ecologia e Geomatica Forestale, Dipartimento di Scienze e Tecnologie  
per l'Ambiente ed il Territorio, Università del Molise, Contrada Fonte Lappone s.n.c., I-86090 Pesche (IS)  
Tel. +39 0874 404113, Fax +39 0874 404123, email: marchettimarco@unimol.it

(\*\*\*) CRA-Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura, Unità di Ricerca per il Monitoraggio  
e la Pianificazione Forestale, piazza Nicolini, 6, loc. Villazzano, I-38123 Trento, Tel. +39 0461 381117  
Fax +39 0461 381131, email: gianfranco.scrinzi@entecra.it

(\*\*\*\*) Dottoranda di ricerca in Ecologia Forestale, Università degli Studi della Toscana, c/o CRA-Consiglio  
per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura, Unità di Ricerca per il Monitoraggio e Pianificazione Forestale,  
piazza Nicolini, 6, loc. Villazzano, I-38123 Trento, Tel. +39 0461 381135, Fax +39 0461 381131  
email: chiara.torresan@entecra.it

### **Riassunto**

I dati da laser scanning aereo (ALS) vengono sempre più proposti per la descrizione della struttura dei popolamenti forestali nei suoi aspetti della distribuzione verticale e orizzontale e di copertura delle chiome. Al contempo varie procedure sono state proposte per la stima del volume e della biomassa legnosa dei popolamenti forestali a partire dalla relazione tra valori di queste grandezze misurati in aree campione a terra e valori ipsometrici ottenuti dai ritorni ALS. La conoscenza sulle potenzialità dei dati ALS è però ancora relativamente modesta nell'ambiente operativo italiano. L'utilizzo dei dati ALS è stato finora finalizzato prevalentemente alla stratificazione dei popolamenti boschivi, all'identificazione di tipi forestali e colturali e alla stima delle masse legnose a scala locale. Rimangono ancora quasi inesplorate le possibilità di integrazione dei dati ALS nell'ambito di inventari forestali di ampie superfici e per la misurazione di fenomeni emergenti quali i boschi di neoformazione, le variazioni della *timberline*, la stima delle quantità di combustibile nelle formazioni forestali e preforestali. Anche l'integrazione di dati multispettrali e dati ALS in processi tesi all'inventariazione contestuale sia qualitativa che quantitativa delle risorse forestali rappresenta tematica di interesse così come, probabilmente in un futuro meno immediato, l'analisi della correlazione tra variazioni ipsometriche desunte da dati ALS e fattori quali l'incremento corrente di volume, il tasso di prelievo legnoso, i fenomeni di degradazione strutturale dei popolamenti forestali.

### **Abstract**

#### **State of the art of airborne laser scanning to support the management of forest resources in Italy**

The information provided by airborne laser scanning (ALS) is increasingly being proposed for the structural description and assessment of forest stands, distinctively as concerns vertical and horizontal components and the crown coverage. At the same time, various procedures have been proposed for supporting the estimation of forest wood volume and biomass exploiting their relationship with the height data obtained by ALS return values. However, in Italy the awareness and the knowledge of the potential of ALS data to support forest management are still relatively modest. The attempts to use ALS data have been mainly focused on the stratification of forest

stands, the identification of forest types and the local estimation of forest wood volume. On the contrary, potential for ALS data exploitation concern also: their integration in forest inventories on large territories; the measurement of emergent phenomena such as woodlots of neo-formation, timberline dynamic, the estimation of fuel load in forest and pre-forest stands. The integration of multispectral and ALS data for simultaneous qualitative and quantitative inventory of forest resources is of interest too, as well as the analysis of the correlation between stand height changes and factors such as current annual increment of wood volume, harvesting rates and stand structural degradation.

## 1. Introduzione

La tecnologia LiDAR (*Light Detection And Ranging* o *Laser Imaging Detection And Ranging*) attua la misura di distanze impiegando luce Laser (*Light Amplification by the Stimulated Emission of Radiation*) emessa da una sorgente e riflessa dagli oggetti territoriali. Nel settore forestale viene principalmente impiegata la scansione laser da piattaforma aerea (*Airborne Laser Scanning* o ALS). Circa la disponibilità di dati LiDAR utilizzabili nel settore forestale, occorre distinguere tra applicazioni sperimentali di ricerca, che in genere vengono attuate con progetti dedicati di scansione su scenari limitati (con idonei parametri di ripresa), e impieghi ai fini forestali di dati che non provengono da voli effettuati con tali scopi specifici: Clementel et al. (2011, *in press*), hanno definito tali dati *low-cost*. Si tratta di dati (di tipo *discrete return*, sovente limitato a primo e ultimo ritorno o eco) solitamente provenienti da riprese effettuate per la realizzazione di DEM (*Digital Elevation Model*) ad alta precisione o misure topografiche da utilizzare per scopi urbanistici, catastali, architettonici, idro-geologici, ecc. con una bassa densità di punti per metro quadrato. Queste scansioni vengono effettuate solitamente nei periodi invernali per minimizzare il “disturbo” della vegetazione, dal momento che l’interesse è raggiungere un elevato tasso di penetrazione attraverso le chiome, cioè far sì che un elevato numero di impulsi raggiunga la superficie del terreno (Kraus e Pfeifer, 1998). Il tasso di penetrazione delle chiome dipende, infatti, dalla stagione e in estate non supera il 25% nei boschi decidui e il 30% nei boschi di aghifoglie (Kilian et al., 1996). Poiché soprattutto nei boschi di latifoglie questo tasso può essere aumentato effettuando la scansione nel periodo invernale (Ackermann et al., 1994), ne deriva che i voli vengono effettuati frequentemente nel periodo citato. Dal punto di vista forestale, invece, il periodo più indicato per l’effettuazione delle riprese su aree boscate è quello estivo. La maggior parte dei capitoli di volo stabilisce di effettuare i voli in zone al di sopra di 2000 m di quota (normalmente prive o quasi di vegetazione arborea) nel periodo estivo, per evitare la presenza di neve sul terreno; nel periodo di minor copertura vegetale (novembre-marzo) si prescrive invece vengano rilevate le aree sotto 2000 m (quelle sulle quali normalmente è presente la vegetazione arborea). Da un punto di vista forestale, se nel caso di boschi di conifere tale aspetto non determina grandi differenze nella ricostruzione della componente ipsometrica, nel caso dei boschi di latifoglie (privi di chioma verde nel periodo invernale) la stagione diventa significativa, dal momento che in inverno soltanto la parte legnosa della chioma origina significativi echi LiDAR di ritorno. Correlazioni tra CHM (*Canopy Height Model*) ottenuti da dati di rilevamenti estivi e invernali sono state studiate da Clementel et al. (2010) in boschi di abete rosso alpini, evidenziando ottime concordanze funzionali, peraltro in un contesto di sistematica sottostima di 4-5 m del CHM invernale; si segnalano, invece, sottostime consistenti in presenza di larice. Una certa tendenza alla sottostima delle altezze reali è peraltro inevitabile anche con voli estivi, in quanto l’impulso emesso dal telemetro laser tende a penetrare all’interno delle chiome prima che possa essere registrato un apprezzabile segnale di ritorno ed inoltre l’interpolazione dei punti su celle regolari comporta un inevitabile smussamento della quota dei cimali (Brandtberg et al., 2003, Barilotti et al. 2005).

In sintesi, si può affermare che la più corretta informazione circa l’altezza della copertura delle chiome nei soprassuoli forestali potrebbe essere desunta dalla differenza algebrica tra un DSM (*Digital Surface Model*) ottenuto da rilevamento estivo e un DTM (*Digital Terrain Model*) desunto da rilevamento invernale.

## 2. Applicazioni ALS in campo forestale

Gli obiettivi di studi applicati al settore forestale basati su tecniche LiDAR riguardano principalmente le applicazioni assestamentali e inventariali ed in particolare:

- la caratterizzazione quali-quantitativa morfologico/strutturale dei soprassuoli;
- la stima quantitativa di masse e biomasse arboree e/o la loro spazializzazione.

Altre applicazioni delle tecniche ALS potenzialmente interessanti nel settore forestale riguardano lo studio idrogeologico del territorio e sfruttano le elevate precisioni altimetriche e risoluzioni dei modelli digitali del terreno elaborati a partire da dati ALS. Per motivi di spazio, tali applicazioni non vengono considerate in questo contributo.

A partire da dati ALS, gli approcci adottati per la stima di parametri quali-quantitativi forestali con finalità assestamentali e inventariali sono essenzialmente di due tipi, detti rispettivamente *area based* e *tree based*.

Nell'approccio *area based* rientrano le applicazioni basate sulla misura di variabili al suolo e dei corrispondenti parametri LiDAR nell'ambito di aree campione (*plot*) di dimensione variabile tra qualche centinaio e qualche migliaio di metri quadrati. In queste applicazioni si considerano, quindi, essenzialmente variabili dendrometriche collettive, cioè riferite, sia nel caso dei dati al suolo che di quelli, contestualizzati, ALS, ad aree di determinate dimensioni.

Nell'approccio *tree based* rientrano, invece, i metodi basati sulla preliminare individuazione e ricostruzione dal dato ALS dei singoli soggetti arborei presenti (o per lo meno di quelli effettivamente discriminabili) in un determinato scenario boschivo, con stima dei caratteri dendrometrici individuali (relativamente al fusto e alla chioma), valutazione delle masse individuali e successiva ricostruzione dei dati riferiti ai collettivi arborei per sommatoria di valori individuali.

### 2.1 Approcci area based negli studi morfologico/strutturali dei soprassuoli

Nell'ambito degli approcci *area based*, i dati ALS sono stati utilizzati per il calcolo di parametri finalizzati alla caratterizzazione strutturale e alla classificazione tematica dei popolamenti: altezza (Barilotti et al., 2005; Floris et al., 2009), densità, "scabrezza" (Floris et al., 2009), indice di penetrazione (Barilotti et al., 2005), in tutti i casi traducibili in mappe tematiche che possono essere di supporto al pianificatore nella stratificazione dei soprassuoli in aree omogenee (Floris et al., 2009).

Su dati ALS relativi a popolamenti della Foresta Demaniale di Cadino, Floris et al. (2009) hanno ridotto la risoluzione del CHM a un idoneo livello di dettaglio operativo attribuendo nuovo formato (3x3 m) ai *pixel*, assegnando loro il valore mediano dei 9 *pixel* originari ed inoltre ponendo successivamente a zero tutti i *pixel* con altezza fino a 5 m (copertura non significativa: vegetazione erbacea, arbustiva, rinnovazione). Utilizzando successivamente matrici di esplorazione (a scorrimento) su ciascun nuovo *pixel*, per intorni di 15x15 *pixel* da 9 m<sup>2</sup> ciascuno (2025 m<sup>2</sup>), hanno derivato *layers* tematici relativi a:

- copertura del soprassuolo (in tre classi);
- altezza media del soprassuolo (in quattro classi, compatibili con lo sviluppo medio ipsometrico delle principali classi cronologiche trentine o "tipi strutturali");
- variabilità ipsometrica locale del soprassuolo - "scabrezza"- (due classi), variabile derivata, tesa a caratterizzare la tendenza del soprassuolo ad assumere *facies* monoplane o multiplane.

Questi piani descrittivi GIS, in quanto tali, od opportunamente ricombinati, sono stati proposti in sede assestamentale come ausilio alla stratificazione tematica soggettiva a fini inventariali, secondo i nuovi metodi della pianificazione trentina.

Nella Alpi Carniche e nelle Prealpi Giulie su boschi di conifere e di latifoglie, Barilotti et al. (2005) hanno calcolato l'indice di penetrazione delle chiome (*Laser Penetration Index*, LPI) che indica la capacità del raggio laser di raggiungere il terreno in aree boscate. Oltre ad aver riscontrato una maggiore penetrazione fino al suolo degli impulsi LiDAR nei boschi di conifere rispetto a quelli di latifoglie, gli autori hanno appurato che LPI è inversamente proporzionale all'altezza degli alberi e alla densità dei popolamenti. Inoltre, LPI sembra essere strettamente e inversamente proporzionale

all'indice LAI (*Leaf Area Index*) misurato al suolo. Infine, una significativa relazione sembra esistere tra l'altezza media di popolamenti misurata al suolo e l'altezza massima riscontrabile sul CHM, pur con una certa tendenza alla sottostima di 3-4 metri.

Floris et al. (2010) hanno, invece, riscontrato una relazione praticamente 1:1 ( $R^2 \text{ adjusted} = 0,81$ ), tra dati di altezza media misurati al suolo (rilevazione ipsometrica di tutti i soggetti presenti con diametro superiore a 2,5 cm e calcolo della relativa media) e dati misurati su CHM (in aree di saggio di 1256 m<sup>2</sup>) della "altezza media degli alberi" (media delle altezze evidenziate dai *pixel* aventi altezza superiore a 2 m e quindi con esclusione dei ritorni LiDAR che hanno colpito direttamente il suolo per assenza locale di copertura). Considerazioni simili sono desumibili dallo studio di Fusco et al. (2008).

I dati ALS sono stati utilizzati da Barbati et al. (2009), Bottalico et al. (2009) e da Floris et al. (2009) per l'identificazione di *gaps* nella copertura forestale (vuoti, radure, superfici sottoposte ad utilizzazione, ecc.), cioè di zone prive di copertura boschiva incluse e significative sotto il profilo dimensionale. L'intento degli autori è stato quello di determinare, tramite processi automatizzabili, le interruzioni significative della copertura forestale, anche eventualmente per escluderle da processi di campionamento a fini assestamentali (in quanto non apportatori di contributo provvigionale rilevante) e quindi aumentare l'efficienza campionaria conseguente al contenimento delle variabilità campionaria.

Per l'identificazione di *gaps* su pinete monoplane artificiali di pino domestico della Riserva Naturale Statale Biogenetica "Tomboli di Cecina" (LI), di cui erano disponibili dati ALS acquisiti nell'inverno del 2004, Barbati et al. (2009) hanno applicato l'analisi *hot spot* basata sul calcolo della variabile statistica locale  $G_i^*$  di Getis-Ord (Getis e Ord, 1992).  $G_i^*$  è stato utilizzato per verificare l'esistenza di *cluster* spaziali. L'indice  $G_i^*$  è stato determinato attraverso l'impiego di una finestra mobile circolare (di raggio pari a 3 m, circa 28 m<sup>2</sup>) per analizzare localmente aree di dimensioni inferiori a quelle mediamente attese per le chiome dei pini nella pineta di Cecina. Bottalico et al. (2009), prendendo come area di studio le stesse pinete, introducono anche una ulteriore procedura per l'individuazione dei *gaps* (proposta da Koukoulas e Blackburn, 2004) che sfrutta una funzione di riclassificazione per estrarre dal DCM i tratti di foresta di altezza inferiore a una soglia SH stabilita sulla base dei valori di pendenza e di altezza calcolati dal DCM in corrispondenza delle zone di contatto tra le aree aperte e le aree con copertura forestale. I tratti di foresta con altezza inferiore a SH, possono essere *gaps* veri e propri oppure corridoi (es. viabilità) e quindi attraverso ulteriori analisi basate sul calcolo dell'indice di forma IF (rapporto tra l'area ed il perimetro, con IF imposto minore di 0,67) sono stati individuati i soli *gaps*. Per confronto è stata effettuata l'identificazione dei *gaps* anche per fotointerpretazione di ortofoto digitali B/N con risoluzione di 1 m, calcolando il numero e la superficie dei *gaps* di dimensioni superiori a 50 m<sup>2</sup>. Il confronto tra i risultati della fotointerpretazione e i risultati delle procedure automatiche mostra che il fotointerprete non riesce a identificare i piccoli *gaps* presenti nella copertura forestale e che il riconoscimento soggettivo dei limiti dei *gaps* è meno preciso di quello automatico.

Sempre in tema di identificazione delle zone di discontinuità significativa nella copertura forestale, Floris et al. (2009), nella Foresta Demaniale Provinciale di Cadino, dopo aver riclassificato il *raster* CHM, attribuendo il valore "1" a tutti i *pixel* il cui valore di altezza CHM era superiore a 5 m e "0" agli altri, hanno adottato una regola di contiguità spaziale su una superficie minima, definendo come appartenente a soprassuolo arboreo significativo qualsiasi *pixel* che, nell'ambito di una matrice di esplorazione di 2025 m<sup>2</sup>, fosse circondato da almeno il 20% di *pixel* "1". La successiva conversione automatica in formato vettoriale della mappa *raster* derivata e la selezione dei soli poligoni "vuoto" di dimensioni superiori a 2000 m<sup>2</sup> (limite operativo minimo di riconoscimento dei "vuoti" della pianificazione trentina) ha portato all'elaborazione della mappa specifica.

## 2.2 Approcci tree based negli studi morfologico/strutturali dei soprassuoli

Barilotti et al. (2005; 2007b) hanno sviluppato un metodo per l'estrazione automatizzata dai dati LiDAR del numero di alberi presenti in bosco impiegando dati di verità al suolo provenienti da

*transect* realizzati in boschi di conifere (peccete, piceo-abieteti) delle Alpi Carniche ed in boschi di latifoglie (faggete e acero-frassineti) delle Prealpi Giulie.

Gli autori, attraverso una sequenza specifica di trasformazioni morfologiche sui DSM, hanno discriminato i singoli soggetti che compongono la superficie boscata mediante l'implementazione in ambiente *open-source* GrassGIS (Neteler e Mitašova, 2004) dell'algoritmo *Top Hat*, funzione matematica di elaborazione di immagini che permette di mettere in evidenza le strutture del rilievo (Schmidt e Hewitt, 2004), che nel caso delle formazioni forestali sono costituite dagli elementi apicali arborei (Turco et al., 2005).

Il confronto con i dati rilevati al suolo su *transect* mostra che, nei soprassuoli a conifere, la procedura individua circa l'80% dei soggetti arborei esistenti nella realtà, tranne nei casi in cui la densità del popolamento è particolarmente elevata. Considerando il numero di alberi contati nell'insieme dei transetti (952) e confrontando questo valore con quello stimato (924), gli autori hanno registrato una differenza di 28 alberi su un totale di 1,48 ettari. Il confronto sui transetti nell'area a latifoglie ha mostrato, invece, una marcata sottostima del numero di alberi estratti mediante la procedura *Top Hat*.

Barilotti et al. (2007a) hanno peraltro sviluppato un metodo per l'individuazione automatica della forma delle chiome degli alberi, che consiste nella creazione di un DSM privo dei punti "sotto-canopy", nell'estrazione automatica del numero di alberi secondo la procedura sopra descritta, nell'impiego di un algoritmo di segmentazione in grado di classificare i punti laser in sub-set dei punti appartenenti a singole chiome e infine nella definizione della proiezione verticale della chioma attraverso cerchi centrati nel baricentro geometrico. Per elevare la qualità dei parametri di chioma calcolati (area, profondità d'inserzione, volume), gli autori hanno sviluppato un'analisi statistica della distribuzione di frequenza dell'altezza che consente di ri-filtrare la vegetazione bassa (vegetazione di bordo o sotto-canopy). I risultati sono stati testati su dati rilevati al suolo in 13 *plots* (posizionati mediante stazioni topografiche totali) in boschi di conifere, misti e di latifoglie, con diversi livelli di densità, evidenziando un'alta correlazione tra i dati di campo ed i dati laser, in modo particolare nei boschi di conifere. La ricerca condotta ha messo in evidenza che a livello di *plot*, il laser tende a sovrastimare l'altezza di inserzione della chioma (ne consegue che la profondità della chioma è sottostimata). A livello di specie, il laser sottostima l'altezza di inserzione della chioma nel caso dell'abete rosso e bianco, mentre la sottostima nel caso del faggio.

Forzieri et al. (2009) hanno sviluppato una procedura automatica per l'individuazione della posizione degli alberi, la forma delle chiome degli alberi e la densità arborea a partire da dati ALS. Lo studio è stato realizzato su aree boscate lungo il fiume Serchio nel Comune di Galliciano (LU), lungo il fiume Sieve (FI) e in un'area Nord-Occidentale del Sevilleta National Wildlife Refuge nello stato del New Mexico (USA). I risultati mostrano che le prestazioni della procedura sono fortemente correlate alle caratteristiche della vegetazione nel senso che si sono ottenuti buoni risultati su aree nelle quali il rapporto tra distanza media degli alberi e diametro medio delle rispettive chiome era superiore a 0.59 e in cui la distanza media tra gli alberi era maggiore della risoluzione spaziale dei dati ALS.

### **2.3 Approcci area based nella stima quantitativa di masse e biomasse legnose e/o loro spazializzazione**

Le metodologie sviluppate nell'ambito di ricerche nazionali per la stima delle masse legnose sono in maggioranza del tipo *area based*.

Le aree di studio coinvolte in studi specifici secondo tale approccio riguardano l'Italia Settentrionale e Centrale: in Lombardia nel bosco planiziale "Bosco della Fontana" (Corona e Fattorini, 2008; Corona et al., 2007; Corona et al., 2008) e in un bosco misto ceduo di latifoglie in Valsassina in provincia di Lecco (Fusco et al., 2008); in provincia di Trento su peccete (Clementel et al., 2010; Floris et al., 2010; Floris et al., 2009) e boschi misti di abete bianco, abete rosso, faggio, larice e pino silvestre (Tonolli et al., 2011); in Toscana, in boschi costieri di *Pinus pinea* (Barbati et al., 2009).

Lo sviluppo di modelli che sfruttano la correlazione tra variabili quantitative collettive desunte da dati ALS e corrispondenti variabili dendrometriche di interesse assestamentale, quali il volume e la biomassa legnosa, è il principale obiettivo di questi studi. L'interesse negli ambienti di ricerca è elevato per le implicazioni applicative che tali metodi fanno intravedere a livello assestamentale e inventariale in generale. Peraltro, nonostante la realizzazione di alcune applicazioni interessanti, la percezione di tali potenzialità è tuttora relativamente limitata in ambiente pratico-operativo, se si eccettuano alcuni passi concreti delle Amministrazioni forestali in Provincia di Trento e in Friuli.

Corona et al. (2007), nel bosco planiziale di farnia e cerro "Bosco della Fontana" (MN), di 236 ha, hanno verificato la correlazione tra il volume misurato su 37 aree circolari al suolo di 314 m<sup>2</sup> (10 m di raggio) con la sommatoria delle contestuali altezze CHM, ciascuna elevata a 3,5. L'esponente di 3,5 adottato deriva da considerazioni dendrometriche legate ad una più congrua rappresentazione del rapporto altezza/volume sul singolo soggetto arboreo (rispetto all'altezza in quanto tale), che in sostanza "linearizza" la relazione (su tale aspetto si ritorna in uno studio di Barbati et al. che verrà esaminato successivamente). Secondo gli autori, la relazione risulta essere una retta passante per l'origine, con fenomeni di eteroschedasticità e con coefficiente di correlazione tra le due variabili pari a 0,78 ( $R^2 = 0,61$ ). La validazione del modello, effettuata con la tecnica *bootstrap resampling*, ha portato a valori di  $r$  e RMSE rispettivamente pari a 0,8 ( $R^2 = 0,64$ ) e 3 m<sup>3</sup>, sulla singola unità di campionamento e cioè di circa 96 m<sup>3</sup>/ha.

Un successivo studio di Corona e Fattorini (2008), realizzato sugli stessi dati, inquadra, tra i primi nel panorama della letteratura forestale internazionale, l'utilizzo secondo l'approccio *area based* dei dati ALS nell'ambito di un esplicito contesto estimativo basato sul disegno campionario, proponendo in particolare uno specifico stimatore per rapporto del volume legnoso totale e uno stimatore corretto della varianza del valore totale stimato. Il caso di studio dimostra, in particolare, come utilizzando il dato ALS quale variabile ausiliaria sia possibile ridurre in modo altamente significativo l'intervallo fiduciario delle stime rispetto a quello ottenibile avendo a disposizione solamente i valori di volume ottenibili dalle aree campione a terra. L'approccio estimativo di Corona e Fattorini (2008) è stato ripreso in uno studio di Barbati et al. (2009) in pinete di pino domestico nell'area costiera toscana, nei pressi di Cecina, valutando tra l'altro l'impatto estimativo del valore dell'esponente cui elevare le altezze CHM da mettere in relazione con il volume rilevato al suolo. Quali verità a terra sono state realizzate 43 aree circolari di 20 m di raggio (1256 m<sup>2</sup>). Si è riscontrato che in tal caso (pinete litoranee) l'altezza CHM tal quale (*first return*) consente le migliori performance estimative ( $R^2 = 0,77$ , RMSE = 69 m<sup>3</sup>/ha, RMSE% circa pari al 24% della massa unitaria media). Interessante notare che, laddove il modello messo a punto da Barbati et al. (2009) viene valutato non in riferimento alle performance puntuali, ma a quelle estimative relative alla stima della provvigione dell'intera foresta di Cecina, la sua precisione è notevole (dell'ordine del 5%).

Uno studio di Fusco et al. (2008), realizzato su uno scenario boschivo prealpino (cedui mesofili) della Valsassina, conferma la relazione tra sommatoria locale delle altezze CHM e, in questo caso, biomassa arborea per ettaro. La capacità di adattamento del modello finale alle biomasse misurate al suolo si aggira attorno al 0,76 di  $R^2$  con RMSE intorno al 21% (31 Mg/ha su circa 150 Mg di biomassa media per ettaro). Gli autori hanno peraltro verificato la correlazione tra le misure di altezza prese in campo a livello di singolo *plot* (considerando solo i soggetti con diametro a petto d'uomo maggiore di 5 cm) e le misure di altezza media ricavate dal CHM normalizzate (escludendo i valori al di sotto dei 2 metri di altezza dal suolo). La correlazione indica, secondo gli autori, un  $R^2$  pari a 0,87.

Studi con approccio *area based* per la stima su base ALS delle masse assestamentali sono stati realizzati da Floris et al. (2010) su dati rilevati dal Servizio foreste e Fauna della Provincia Autonoma di Trento che ha messo a disposizione anche i dati ALS. Gli autori hanno messo a punto un modello di regressione tra variabili ipsometriche derivate dal CHM e i valori di diametro, altezza, volumi misurati a terra in aree di saggio a raggio fisso (variabile da 13 a 20 m) nella Foresta Demaniale Provinciale di Paneveggio, quasi esclusivamente edificata da abete rosso. Gli stessi



hanno valutato la capacità esplicativa sulle masse di diverse variabili desunte dal CHM (sommatorie e medie di altezze depurate o meno della densità, altezza massima, % copertura) desumendo che la semplice altezza media locale del CHM (data dalla media delle altezze CHM dei pixel appartenenti all'area di saggio, considerando nella media con valore 0 i pixel CHM inferiori a 2 m) è dotata di ottime capacità previsionali della massa ad ettaro riscontrata al suolo, sia in relazione a quella totale (tutti i soggetti con diametro superiore a 2,5 cm) che a quella assestamentale (soli soggetti con diametro superiore a 17,5 cm), quest'ultima stimata dal modello a doppia entrata appropriato (rispetto alla specie) della serie di modelli denominati "MV2" (Scrinzi et al., 2010) in uso nella pianificazione forestale del Trentino. L'analisi della capacità predittive dei volumi unitari locali, attuata dopo *cross-validation* del modello, individua valori di  $R^2$  *adjusted* ed RMSE intorno a 0,88 e 90 m<sup>3</sup>/ha per entrambi i tipi di masse e, considerata la massa media al suolo dello scenario (quasi 600 m<sup>3</sup>/ha), se ne desume un errore standard percentuale di stima del 15%. L'applicazione del modello di stima del volume assestamentale in senso predittivo ad alcune particelle facenti parte del piano di assestamento della Foresta demaniale di Paneveggio ha evidenziato che i dati della stima ALS sono altamente correlati con quelli della pianificazione (si veda anche oltre su tale aspetto).

La stima del volume di popolamenti forestali (fustaie multiplane prevalentemente di abete bianco e rosso) attraverso l'impiego di dati LiDAR multi-ritorno, in uno scenario forestale di Lavarone (TN) è stato l'obiettivo di una ricerca di Tonolli et al. (2011). I dati di verità a terra sono stati ottenuti da 50 *cluster* di aree relascopiche, ma anche da inventari di 6 singoli popolamenti estesi mediamente su 12 ha. Relativamente all'elaborazione dei dati ALS, i *pixel* con valori di CHM inferiori a 2 m sono stati assunti pari a zero. Ritenendo esista una relazione tra il volume assestamentale (a livello di varie estensioni unitarie tra 400 e 3600 m<sup>2</sup>) e le variabili predittive derivate dalla densità di distribuzione e altri parametri statistici delle altezze dei ritorni laser nell'ambito delle chiome rilevate sul CHM in posizioni e ampiezze corrispondenti, gli autori hanno individuato 20 variabili in ogni cella relativamente alla distribuzione degli echi di quattro impulsi laser (primo-quarto). Con la tecnica di regressione *stepwise forward* hanno selezionato le variabili più esplicative nella predizione della massa (altezza media del primo eco e mediana della distribuzione delle altezze dei secondi ritorni) da includere in un modello di regressione multipla di stima della massa unitaria. Dai dati si desume che la semplice altezza media locale CHM (*first return*) assume sempre la più alta capacità predittiva delle masse unitarie e che al diminuire della estensione dell'area al suolo considerata (stime fornite per aree unitarie via via più ampie) aumentano gli  $R^2$  dei modelli (da 0,5 a 0,6 circa), diminuiscono gli errori previsionali, da 90 a 80 m<sup>3</sup>/ha circa quelli assoluti e meno significativamente quelli percentuali (dal 22,5% al 19% circa). Introducendo la variabile esplicativa citata relativa al secondo ritorno laser, unica selezionata tra le 20 esaminate come apportatrice di ulteriore capacità esplicativa oltre al *first return*, in riferimento alle stesse variazioni (in diminuzione) di risoluzione, si ottiene un aumento progressivo degli  $R^2$  da 0,6 a 0,7, una diminuzione dell'errore previsionale assoluto da 80 a 70 m<sup>3</sup>/ha e di quello relativo dal 20 al 17%. Gli autori affermano che l'aumento di complessità dei modelli con l'inclusione del secondo ritorno determina vantaggi soprattutto in scenari di fustaie multiplane, data la probabile capacità del secondo ritorno di evidenziare piani vegetazionali sottoposti. Occorre peraltro chiedersi se il maggior costo di elaborazione e la minore disponibilità di dati (rispetto al semplice CHM *first return*) che l'aumento della complessità dei modelli comporta, siano giustificati da vantaggi estimativi ottenibili.

In quasi tutti i lavori citati si pone l'attenzione sulla valutazione puntuale delle capacità predittive dei modelli ALS-based in riferimento alla massa per unità di superficie o assoluta associabile ad una singola e limitata stima localizzata. Peraltro il settore operativo (in particolare quello assestamentale) è più interessato a valutare le precisioni di stima automatica ALS su superfici di una certa estensione (ad esempio, a livello di particella). Purché i modelli non siano distorti (cioè non affetti da errori sistematici e quindi dotati di buone distribuzioni dei residui), passando a stime riferite a superfici di una certa estensione è plausibile supporre una compensazione di errori positivi e negativi delle stime localizzate, con aumenti consistenti della accuratezza della somma di valori di

single realizzazioni estimative del modello su tratti limitati di superficie mutuamente indipendenti. Il problema è stato trattato da Floris et al. (2010) a livello di una generica particella forestale di 10 ha della Foresta di Paneveggio, ove, sia attraverso un approccio teorico (Tabacchi, 1989) che attraverso un processo di simulazione, gli autori sono pervenuti a una valutazione dell'incertezza totale della stima del volume particellare tra il 2 e il 3% del volume assestamentale di particella. Tale valore è addirittura inferiore a quello conseguibile con il cavallettamento totale standard trentino, affetto da un errore standard del 4% secondo stime effettuate da Scrinzi (1989).

Permane peraltro l'interesse delle applicazioni localizzate dei modelli di stima basati su dati ALS laddove esse danno la possibilità di visualizzare in continuo la variabilità assoluta e/o relativa delle masse unitarie a livello subparticellare - esempi in Floris et al. (2010) e Tonolli e al. (2011) - aspetto rilevante e innovativo ai fini della pianificazione (piano dei tagli, pianificazione operazioni di esbosco) e non conseguibile con le procedure inventariali attualmente in uso.

Circa la spazializzazione delle masse, Clementel et al. (2011) hanno proposto l'impiego del CHM per determinare una variabile derivata locale detta "K- LiDAR". Si tratta di un coefficiente di adeguamento locale su base LiDAR della massa media ad ettaro determinata da rilievi al suolo a livello di comparti inventariali di vario tipo (particella, strato campionario). Non presupponendo la costruzione di un vero e proprio modello ALS basato sulla raccolta di verità a terra, l'ipotesi è volta a ridurre i costi inventariali e ad aumentare il livello informativo laddove siano disponibili stime inventariale tradizionali di comparto derivanti dalla pianificazione ordinaria.

#### **2.4 Approcci tree based nella stima quantitativa di masse e biomasse legnose e/o loro spazializzazione**

In vari tipi di fustaie del Friuli Venezia Giulia (peccete, abieti-piceo-faggeti, piceo-abieteti, piceo-faggeti e faggete) Abramo et al. (2007) hanno adottato un approccio *tree-based* nella stima su base ALS delle masse legnose attraverso una serie di fasi sequenziali. Innanzitutto gli autori hanno proceduto all'individuazione dei singoli alberi nell'area considerata elaborando i dati ALS attraverso un software sviluppato ad hoc in ambiente Linux (Beinat e Sepic, 2005), sulla base del quale hanno costruito uno specifico *tool* di algoritmi che permette il posizionamento e il conteggio dei singoli alberi, l'attribuzione ad ogni albero di un'altezza, la delineazione della forma della chioma e la stima della sua profondità (Barilotti e Sepic, 2006). L'applicativo è stato testato su verità al suolo.

Il metodo ha permesso di individuare complessivamente il 71% dei soggetti presenti aventi diametro da 5 cm in su. La percentuale di individuazione sale all'89% considerando i soli soggetti sopra soglia di cavallettamento assestamentale (17,5 cm). Infine, in riferimento ai soli alberi dominanti, circa il 94% del totale è stato correttamente individuato.

Una ulteriore fase prevedeva che fosse nota da rilievi al suolo la corretta relazione locale del diametro rispetto all'altezza o quella attribuibile sinteticamente sulla base di un inquadramento del popolamento in serie ipsometriche tariffarie di derivazione assestamentale basate su equazioni in uso per le principali specie forestali in Friuli Venezia-Giulia (Del Favero et al., 2001). Ci si riferisce ad una relazione diametro su altezza e non alla consueta relazione ipsometrica (altezza su diametro); quest'ultima viene infatti adeguata tramite inversione degli assi per renderla compatibile con l'obiettivo di stimare il diametro dei soggetti arborei la cui altezza è stata quantificata mediante dati ALS. Il confronto tra il volume calcolato con il sistema tariffario classico e quello desunto attraverso la metodologia di ricerca illustrata ha mostrato per l'abete rosso uno scostamento percentuale contenuto intorno al 5-6% (tranne che in una situazione ove si registra uno scostamento dell'11,7%) e per il faggio intorno al 10% nel caso delle fustaie e di quasi il 19% nel caso dei cedui. Si tratta peraltro di differenze riscontrate sui volumi di insiemi ridotti di soggetti individuati sia con la metodologia descritta sul supporto ALS che misurati al suolo. Dai dati dello studio risulta difficoltoso risalire alle *performance* di precisione del metodo a livello di ampie superfici, circostanza che consentirebbe un confronto più realistico e su un livello di parità con i modelli messi a punto negli studi esaminati in precedenza. C'è da dire che con funzioni di questo tipo,

piuttosto variabili con la specie anche a parità di stazione, è critico, ai fini della stima delle masse legnose, il riconoscimento non solo dei singoli soggetti presenti ma anche della rispettiva specie, aspetto, che allo stato attuale, implica eventualmente la fusione dei dati ALS con dati multi- o iperspettrali (Dal ponte et al. 2008; Altobelli et al. 2004; Tonolli et al., 2011). In altri casi, molti autori determinano la composizione media in aree di saggio a terra e ripartiscono successivamente i volumi fra le specie in relazione alla composizione rilevata al suolo (Gobakken e Næsset, 2004; Parker, 2006).

Peraltro tali metodi possono avere notevole rilevanza qualora si sia interessati non solo (o non tanto) la stime di massa o biomassa, ma a sofisticate ricostruzioni 3D del bosco suscettibili di impieghi a livello ad esempio di studi ecologici e sugli habitat o sulla funzione estetico-paesaggistica.

Ancora nell'ambito dell'approccio *tree based*, Dalponte et al. (2011) hanno sviluppato un sistema per la stima del diametro e del volume di fusti arborei a livello di singoli soggetti a partire da dati ALS multi-ritorno. Lo studio adotta un metodo che attraverso un processo di segmentazione, il quale sfrutta un algoritmo elaborato da Hyypä et al. (2001), identifica le singole chiome a partire dai dati ALS. In una successiva fase, nell'ambito delle regioni enucleate dal processo di segmentazione (riferibili quindi a chiome di singoli soggetti) vengono misurate diverse variabili (statistiche e dimensionali) derivate dai dati ALS di ciascuna regione e riprodotte per ognuno di 4 echi disponibili (1°, 2°, 3°, 4°). Selezionando poi (con diversi metodi) le variabili più significative vengono costruiti modelli per la stima del diametro e del volume del soggetto che ciascuna regione rappresenta. Il metodo è stato testato su un'area di studio localizzata nel comune di Lavarone (TN) su 481 alberi in 50 aree di saggio. Dallo studio emerge che il primo ritorno (CHM) fornisce il set di variabili più indicative; dai grafici presentati si desume che la capacità del modello di stima del diametro individuale è piuttosto bassa (circa 6 cm di errore medio assoluto su un soggetti medi di 45 cm di diametro) e tendente alla sovrastima per i diametri fino a 40 cm circa e alla sottostima per i diametri superiori. In relazione al volume le performance del metodo sono migliori con errori standard di stima di 0,7-0,8 m<sup>3</sup> su soggetti medi di 2,275 m<sup>3</sup>. Sul totale dei 481 soggetti lo scostamento del volume stimato a partire dai dati ALS è invece soltanto del -5% circa. Dallo studio non è peraltro desumibile in quale misura il processo di segmentazione iniziale sia in grado di individuare il numero di soggetti realmente presenti su una superficie definita ed è perciò difficile individuare un terreno di confronto con i metodi *area-based*, descritti in precedenza.

### 3. Conclusioni

In questi ultimi anni è aumentato l'interesse verso lo studio delle applicazioni ALS, grazie ai numerosi vantaggi che la tecnologia consente in diversi settori e soprattutto per la possibilità di acquisire informazioni dimensionali della superficie terrestre anche nelle aree con caratteristiche morfologiche complesse. Lo sviluppo di metodologie per il trattamento dei dati ha favorito un forte incremento delle applicazioni anche nel settore forestale, cosicché in molti Paesi le tecniche ALS sono già ampiamente utilizzate a livello pre-operativo e operativo. La panoramica presentata in questa rassegna ne evidenzia la piena applicabilità anche con riferimento alle condizioni ambientali e operative italiane.

Rimangono, peraltro, ancora da sviluppare le possibilità di integrazione dei dati ALS nell'ambito di inventari forestali su ampie superfici basati su schemi di campionamento probabilistico: meritevoli di segnalazione in merito, oltre alla proposta di Corona e Fattorini (2008), sono i lavori di Gregoire et al. (2011) e Ståhl et al. (2011).

Un altro tema di interesse per lo sviluppo di applicazioni ALS, e con particolare riferimento al nostro paese, è la mappatura del combustibile in foresta, tradizionalmente basata su onerosi rilievi campionari. I pochi studi sperimentali su questo aspetto (e.g. Seielstad e Queen, 2003; Mutlu et al., 2008) suggeriscono la possibilità di elaborare indici derivati da dati ALS che distinguano alcuni modelli di combustibile utilizzabili come dati di input di modelli di comportamento del fuoco, incrementando l'accuratezza della stima dei parametri strutturali del combustibile sia attraverso

elaborazioni su dati *raw* (nube di punti) che in combinazione con tecniche di classificazione di immagini telerilevate multispettrali (e.g. Riaño et al., 2003; Mutlu et al., 2008; Erdody e Moskal, 2010). Infine si rileva che la tecnologia ALS sta evolvendo in maniera molto rapida e il settore forestale può beneficiarne direttamente, in particolare per quanto si potrà ottenere con l'ulteriore aumento della capacità di raccolta dei dati: questo fattore è particolarmente importante, perché legato al costo di acquisizione, che è necessario ridurre per favorire un mercato sempre più accessibile.

### Riferimenti bibliografici

- Abramo E., Barilotti A., Sepic F., (2007). Dalla dendrometria diametrica alla dendrometria ipsometrica: stima del volume degli alberi da rilievi laser-scanning. *Forest@* 4 (4): 373-385, 2007.
- Ackermann F., Englich M., Kilian J. (1994). Die Laser-Profil-Befliegung Gammertingen 1992. *ZfV* 119(5), pp. 264-277.
- Altobelli A., Coren F., Sterzai P., Napolitano R. (2004). Integrazione dei dati laser scan e iperspettrali per la stima di parametri strutturale e funzionali della vegetazione, V Meeting degli Utenti Italiani di GRASS, Padova, 5 - 6 febbraio 2004.
- Barbati A., Chirici G., Corona P., Montagni A., Travaglini D. (2009). Area-based assessment of forest standing volume by field measurements and airborne laser scanner data. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. 30, No. 19, 10 October 2009, 5177-5194.
- Barilotti A., Sepic F. (2006). Delineazione automatica delle chiome in diverse tipologie forestali attraverso analisi di dati LiDAR. Atti 10° Conferenza nazionale ASITA, 14-17 novembre 2006, Bolzano.
- Barilotti A., Sepic F., Abramo E., Crosilla F. (2007a). Assessing the 3D structure of the single crowns in mixed alpine forests. In: Stilla U, Meyer H, Rottensteiner F, Heipke C, Hinz S. (eds). (2007). *PIA07 - Photogrammetric Image Analysis 2007*. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing, and Spatial Information Sciences, Volume 36, Part 3/W49A.
- Barilotti A., Sepic F., Abramo E., Crosilla F. (2007b). Improving the morphological analysis for tree extraction: a dynamic approach to LiDAR data. *ISPRS Workshop on Laser Scanning 2007 and SilviLaser 2007*, Espoo, September 12-14, 2007, Finland.
- Barilotti A., Turco S., Napolitano R., Bressanc E. (2005). La tecnologia LiDAR per lo studio della biomassa negli ecosistemi forestali. *Proceedings of 15th Meeting of the Italian Society of Ecology*, 12-14 September 2005, Torino.
- Beinat A., Sepic F. (2005). Un programma per l'elaborazione di dati LiDAR in ambiente LINUX. Atti del 50o Convegno Nazionale della Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia, 29-30 giugno 2005, Mondello, Palermo, Italy.
- Bottalico F., Montagni A., Travaglini D. (2009). Identificazione dei gaps nella copertura forestale con dati LiDAR. Atti 13a Conferenza Nazionale ASITA, Bari, 1-4 dicembre 2009.
- Brandtberg T., Warner T. A., Landenberger R.E., McGraw J.B. (2003). Detection and analysis of individual leaf-off tree crowns in small footprint, high sampling density LiDAR data from the eastern deciduous forest in North America. *Remote Sensing of Environment* 85 (2003) 290-303.
- Clementel F., Colle G., Farruggia C., Floris A., Scrinzi G., Torresan C. (2010). Stima operativa di parametri dendrometrici forestali con riprese LiDAR invernali a bassa risoluzione. Atti 14a Conferenza Nazionale ASITA, Brescia, 9-12 novembre 2010.
- Clementel F., Colle G., Farruggia C., Floris A., Scrinzi G., Torresan C. (2011). Estimating forest timber volume by means of "low-cost" LiDAR data. *Rivista Italiana di Telerilevamento* (in press).
- Corona P., Chirici G., Lamonaca A., Travaglini D., Mason F., Minari E., Marchetti M., Montagni A. (2007). Sviluppo di una procedura innovativa per la cubatura del volume della massa legnosa di fustaie di latifoglie mediante LiDAR. In: Federazione italiana delle Associazioni Scientifiche per le Informazioni Territoriali e Ambientali (a cura di). Atti della XI Conferenza Nazionale ASITA (Torino, 6 - 9 novembre 2007). Milano, Federazione italiana delle Associazioni Scientifiche per le Informazioni Territoriali e Ambientali.

- Corona P., Fattorini L. (2008). Area-based LiDAR-assisted estimation of forest standing volume. *Can. J. For. Res.* 38: 2911–2916 (2008).
- Corona P., Lamonaca A., Chirici G., Travaglini D., Marchetti M., Minari E., Montagni A. (2008). Estimation of growing stock of broadleaved forests by airborne laser scanning. pp 39-44. In: Gianelle D., Travaglini D., Mason F., Minari E., Chirici G., Chemini C. (eds.). (2007). *Canopy analysis and dynamics of a floodplain forest. Rapporti Scientifici, 3. Centro Nazionale per lo studio e la conservazione della Biodiversità Forestale - Bosco della Fontana. Cierre Grafica Editore, Verona: 96 pp.*
- Dalponte M., Buzzzone L., Pianelle D. (2008). Fusion of hyperspectral and LiDAR remote sensing data for classification of complex forest areas. *Transactions on geoscience and remote sensing*, Vol. 46, No. 5, May 2008.
- Del Favero R., Bortoli P.L., Solari V., STAF Snc, Vanone G., Moro E. (2000). *Direttive per i piani di gestione delle proprietà forestali nella Regione Friuli Venezia Giulia. Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia*, pp. 256.
- Erdody T.L., Moskal L.M. (2010). Fusion of LiDAR and imagery for estimating forest canopy fuels. *Remote Sensing of Environment*, 114:725-737.
- Floris A., Clementel F., Farruggia C., Scrinzi G. (2009). Il LiDAR nella stratificazione tematica dei soprassuoli forestali: applicazioni in Trentino. *Atti 13a Conferenza Nazionale ASITA, Bari, 1-4 dicembre 2009.*
- Floris A., Clementel F., Farruggia C., Scrinzi G. (2010). Stima su base LiDAR delle provvigioni legnose forestali: uno studio per la Foresta di Paneveggio. *Rivista Italiana di Telerilevamento - 2010*, 42 (3): 15-32.
- Forzieri G., Guarnieri L., Vivoni E. R., Castelli Fabio, Preti F. (2009). Multiple attribute decision making for individual tree detection using high-resolution laser scanning. *Forest Ecology and Management*. 258: 2501-2510.
- Fusco S., Pflugmacher D., Kirschbaum A., Cohen W., Chiatante D., Montagnoli A. (2008). Uso di dati LiDAR per stima della biomassa forestale in un bosco misto di latifoglie: un caso studio in Valsassina (LC). *Atti 12a Conferenza Nazionale ASITA, L'Aquila, 21-21 ottobre 2008.*
- Getis A., Ord K. (1992). The analysis of spatial association by use of distance statistics. *Geographical Analysis* 24, 189–206.
- Gobakken T., Næsset E. (2004). Estimation of diameter and basal area distributions in coniferous forest by means of airborne laser scanner data. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 19: 529-542.
- Gregoire T.G., Ståhl G., Næsset E., Gobakken T., Nelson R., Holm S. (2011). Model-assisted estimation of biomass in a LiDAR sample survey in Hedmark county, Norway. *Canadian Journal of Forest Research*, 41: 83-95.
- Kilian J., Haala N., Englich M. (1996). Capture and evaluation of airborne laser scanner data. *International Archive of Photogrammetry and Remote Sensing. Volume 31, Part B3, Pages 383-388.*
- Koukoulas S., Blackburn G.A. (2004). Quantifying the spatial properties of forest canopy gaps using LIDAR imagery and GIS. *International Journal of Remote Sensing*, 25: 3049-3071.
- Kraus K., Pfeifer N. (1998). Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and remote sensing, Volume 53, Issue 4, August 1998, Pages 193-203.*
- Mutlu M., Popescu S., Stripling C., Spencer T. (2008). Mapping surface fuel models using LiDAR and multispectral data fusion for fire behavior. *Remote Sensing of Environment*, 112:274-285.
- Neteler M., Mitašova H. (2004). *Open Source GIS: A GRASS GIS Approach. Second Edition. Boston: Kluwer Academic Publishers/Springer. 424 pp, 2004.*
- Parker R. C. (2006). Computer automation of a LiDAR double-sample forest inventory. *Forest and Wildlife Research Center, Bulletin FO275, Mississippi State University, pp. 19.*

- Riaño D., Meier E., Allgower B., Chuvieco E., Ustin S. (2003). Modeling airborne laser scanning data for the spatial generation of critical forest parameters in fire behavior modeling. *Remote Sensing of Environment*, 86:177-186.
- Schmidt J., Hewitt A. (2004). Fuzzy land element classification from DTMs based on geometry and terrain position. *Geoderma*, 121: 243-256.
- Scrinzi G. (1989). Precisione degli inventari assestamentali per cavallettamento totale: un'analisi di trent'anni d'esperienza applicativa in Trentino. *Annali dell'Istituto Sperimentale per L'assestamento Forestale e l'Alpicoltura*. Volume XI, Trento – 1988. 143-186.
- Scrinzi G., Galvagni D., Marzullo L. (2010). I nuovi modelli dendrometrici per la stima delle masse assestamentali in provincia di Trento. *Provincia Autonoma di Trento, Servizio Foreste e Fauna*. 95 pp.
- Seielstad C., Queen L. (2003). Using airborne laser altimetry to determine fuel models for estimating fire behaviour. *Journal of Forestry*, 101:10-15.
- Ståhl G., Holm S., Gregoire T., G., Gobakken T., Næsset E., Nelson R. (2011). Model-based inference for biomass estimation in a LiDAR sample survey in Hedmark County, Norway. *Canadian Journal of Forest Research*, 41: 96-107.
- Tabacchi G. (1989). Sulla precisione delle stime condotte con tavole di cubatura costruite con metodo analitico. *Annali dell'Istituto Sperimentale per L'assestamento Forestale e l'Alpicoltura*. Volume XI, Trento – 1988. 187-236.
- Tonolli S., Dalponte M., Vescovo L., Rodeghiero M., Bruzzone L., Gianelle D. (2011). Mapping and modeling forest tree volume using forest inventory and airborne laser scanning. *European Journal of Forest Research* (2011) 130: 569–577.
- Turco S., Alberti G., Barilotti A., Bonfanti P.L. Processamento di dati laser scanning con GRASS GIS per la determinazione automatica di parametri inventariali forestali. *Atti del VI Meeting degli utenti italiani di GRASS*, 2005.



## La rappresentazione cartografica derivata dal Database Topografico

Manuela Corongiu (\*), Tiziana De Filippis (\*\*),  
Leandro Rocchi (\*\*), Giancarlo Carrai (\*\*\*)

(\*) Consorzio LaMMA, via M. Piano 10, 50019 Sesto Fiorentino

Tel. +39 0554483037, corongiu@lamma.rete.toscana.it

(\*\*) CNR IBIMET, Via G. Caproni 8, 50145 Firenze, Tel. +39 0553033711, t.de.filippis@ibimet.cnr.it

(\*\*\*) SVALTEC s.r.l., Via del Campofiore 106, 50136 Firenze, Tel. +39 0556236003, gc.carrai@svaltec.it

### Abstract

Il presente lavoro s'inserisce nelle attività di ricerca relative alla derivazione della rappresentazione cartografica dai dati di un DataBase Topografico (DBT) definito secondo le specifiche dell'Intesa Stato Regioni ed Enti Locali sui GIS (IntesaGIS, 2006). In un contesto di effettiva interoperabilità in rete, le modalità di rappresentazione devono essere adeguate alle nuove funzionalità offerte dalla tecnologia informatica, essere conformi agli standard dell'*OpenGeospatial Consortium* (OGC) e nel contempo adottare una semiotica universalmente approvata e condivisa, come quella della ormai consolidata Cartografia Tecnica (CT). Quest'ultimo aspetto, in genere trascurato in un approccio puramente tecnologico, è tutt'altro che secondario, trattandosi di un vero e proprio linguaggio, pur nella sua accezione puramente grafica e simbolica. Obiettivo principale è stato quello di realizzare una modalità di rappresentazione dinamica degli oggetti del DBT a partire dalle proprietà della classe o delle singole istanze, senza richiederne una preventiva definizione sulla componente spaziale. La sperimentazione effettuata ha lo scopo di derivare la rappresentazione cartografica dai dati di un DBT a partire dalle modalità attualmente utilizzate nella CT di Regione Toscana (legende, simboli e regole), adeguando dinamicamente la simbologia agli oggetti topografici e con il vincolo importante di salvaguardia della semiotica della rappresentazione della CT tradizionale. La soluzione proposta consente un aggiornamento automatico della rappresentazione cartografica a fronte di un aggiornamento di un oggetto (istanza di una classe). Vengono definiti e sperimentati gli algoritmi di rappresentazione, implementandoli secondo le indicazioni dell'OGC contenute nei documenti di specifica dello *Styled Layer Descriptor* (OGC SLD, 2007) e del *Symbology Encoding* (OGC SE, 2006) a partire da un insieme sperimentale di dati del DBT su piattaforma *Open Source*.

*This work is one of the AR.DI.TO. research project topics and It is focused on data portrayal derived from a topographic database (DBT), compliant with IntesaGIS specifications (IntesaGIS, 2006). In fact, in a context of effective interoperability on the WEB, data portrayal techniques must be adequate to the new technology information potentialities, according to the OGC (Open Geospatial Consortium) standards and, at the same time, adopting a universally approved semiotic (as happened in the past for a technical cartography). This last one, usually overlooked in a technological approach, is a big matter because it concerns a real language, even in its purely graphical and symbolic meaning. The main objective is to develop a dynamic portrayal methodology that could be derived by querying each class instance definition and independently from a specific spatial component definition. The test phase was carried out in order to dynamically derive the DBT symbology, adopting the current Tuscany Regional portrayal specifications (legends, symbols and rules), moreover paying attention to the topographic semiotic preservation. The proposed solution allows an automatic update of the symbology related to each DBT object update. Algorithms are defined and tested according to the OGC specification Styled Layer Descriptor (OGC SLD, 2007) and Symbology Encoding (OGC SE, 2006), using a DBT Open Source platform.*

### **Premessa**

Il lavoro proposto s'inserisce nell'ambito delle attività del Progetto di ricerca AR.DI.TO. (ARchivi Digitali TOPografici e Infrastrutture dei dati Spaziali per la Mobilità Sostenibile).

Tra le attività previste dal progetto di ricerca, una fondamentale riguarda lo studio e la sperimentazione delle procedure di rappresentazione cartografica dei contenuti del DataBase Topografico (DBT), in conformità alle prescrizioni dell'Open Geospatial Consortium (OGC), con l'adozione di una semiotica approvata e condivisa a livello di Regione Toscana relativamente alla rappresentazione grafica del contenuto di un DBT. Per quanto riguarda la fase di elaborazione delle procedure di associazione grafica ai contenuti del DBT, le operazioni di sviluppo sono elaborate in ambiente *Open Source*, in base alle evoluzioni tecniche di questo settore in continua evoluzione.

### **Obiettivo ed approccio metodologico**

L'obiettivo principale di progetto ha riguardato lo studio e la sperimentazione di una metodologia e di procedure di derivazione della rappresentazione cartografica dai contenuti del DBT della Regione Toscana, adottando una legenda di simboli e vestizioni simili al tradizionale allestimento di cartografia a media scala della Carta Tecnica Regionale (CTR). Vincoli fondamentali riguardano la conformità alle prescrizioni OGC e l'adozione di una semiotica della rappresentazione grafica approvata e condivisa per le funzioni di divulgazione dei dati attraverso procedure informatiche. L'approccio al lavoro è per ciò stato orientato alla realizzazione di una modalità di derivazione e rappresentazione dinamica degli oggetti del DBT, a partire dalle proprietà della classe o delle singole istanze; ciò indipendentemente dalla strutturazione della sua componente spaziale che nella fattispecie del DBT della Regione Toscana, non solo recepisce le normative IntesaGis, ma è ulteriormente complicata dal fatto che il modello dei dati è costruito secondo una topologia esplicita basata sulle relazioni tra gli *edge* di perimetrazione delle *face*. Il modello dati prevede infatti che, le primitive geometriche relative alle componenti spaziali del DBT siano acquisite per rispondere a specifiche esigenze di organizzazione del dato, in una logica di ottimizzazione dei processi di controllo (interrogazione, topologia, etc.) che non necessariamente corrispondono alle strutturazioni delle geometrie elementari funzionali alla sola rappresentazione simbolica o vestizione grafica: pertanto la derivazione della rappresentazione non può limitarsi ad una semplice *query* sui contenuti del DBT, ma anche all'adeguata ricostruzione delle primitive geometriche funzionali alla vestizione cartografica. Nel caso in esame, a partire dal DBT 10K di Regione Toscana (DBT\_RT, 2008), si è derivato il DBT di sintesi alla scala 1:25.000 (Corongiu et al., 2010), e si è sperimentata la derivazione della rappresentazione cartografica corrispondente. Da un'analisi preliminare dei risultati è emersa l'esigenza di una specifica analisi dei requisiti di supporto alla modellazione dati che risponda alla necessità, peraltro ben manifesta, di possibili derivazioni a scale minori. Difatti alcune problematiche che sono state risolte tramite algoritmi, in particolare con riferimento allo sfoltimento non solo di simboli e/o punti quota ma anche di scritte cartografiche, potrebbero trovare una soluzione in un modello dati che gestisca attraverso opportuni attributi la rappresentatività alle varie scale; analogamente, sempre attraverso una migliore modellazione, possono essere risolti problemi legati alla classificazione della viabilità e dell'idrografia. La soluzione elaborata nel presente lavoro ha lo scopo di consentire l'aggiornamento automatico della rappresentazione cartografica a fronte di un aggiornamento di un oggetto del DBT (istanza di una classe). Oggetto di sperimentazione è stato dunque l'elaborazione di algoritmi di rappresentazione implementati secondo le indicazioni dell'OGC in particolare considerando le specifiche di *Styled Layer Descriptor* (OGC SLD, 2007) e di *Symbology Encoding* (OGC SE, 2006), e richiamando le simbologie di oggetti associati tramite l'elaborazione di questi nel formato *SVG Scalable Vector Graphics* (W3C SVG, 2011), il tutto a partire da un DBT su piattaforma *Open Source*.

### **La fase di sperimentazione**

Come caso studio è stata derivata la rappresentazione cartografica di una porzione di DBT di sintesi di Regione Toscana. L'estensione territoriale è pari a 4 sezioni alla scala 1:10.000 (e quindi ad una tavoletta 1: 25.000 IGM). Le simbologie della scala 1:25.000 sono simili a quelle adottate dall'IGM nel DB25, essendo in fase di elaborazione una legenda di rappresentazione al 25.000 propria di

Regione Toscana e congruente con la legenda del DBT multiscala regionale, anch'esso in via di costituzione. Nel momento in cui Regione Toscana avrà concluso e consolidato la legenda di rappresentazione con dettaglio al 25.000 sarà immediato adottarla in luogo della attuale del tutto sperimentale. Il DBT è implementato in ambiente PostgreSQL 8.4 con l'estensione PostGIS 1.5.2 per la gestione dei dati spaziali, mentre gli aspetti di visualizzazione e pubblicazione sono elaborati utilizzando Geoserver.

La maggiore criticità nella realizzazione della rappresentazione cartografica derivata da un DBT consta nell'organizzare le primitive geometriche di componenti spaziali di un DBT perché possano produrre simbolizzazioni conformi ai criteri di rappresentazione, nonostante la segmentazione delle geometrie risponda a criteri di database e non di vestizione cartografica. Un secondo aspetto di pari criticità ha riguardato le metodologie di raccordo tra struttura di contenuto e struttura di rappresentazione del DBT, cosicché a fronte dell'aggiornamento di un oggetto del DBT potesse corrispondere un aggiornamento in automatico della rappresentazione cartografica associata.

Ciò premesso, le fasi fondamentali della sperimentazione sono state:

- elaborazione delle *query* di selezione ed aggregazione al fine di ottenere i *layer* che concorrono alla rappresentazione applicando la metodologia del *filter encoding* (OGC FE, 2010);
- definizione della legenda di rappresentazione organizzata come *Symbol Table*;
- la *Symbol Table* è articolata in:
  - o Aree definite con campitura di riempimento dell'area e di elaborazione del tipo di contorno;
  - o Linee vestibili con tipi linea, spessori e colori di vestizione;
  - o Punti cui vengono associati simbolizzazioni specifiche;
  - o Oggetti associati alla rappresentazione che non sono automatizzabili e non rientrano nei casi precedenti per i quali è stato necessario elaborare dei simboli specifici in SVG; tali simboli possono essere associati a punti (pozzo, alberi isolati, etc...) ma anche a linee (simbolo di elettrificazione della ferrovia, vestizione delle scarpate tramite le "barbette"...) od ad aree (campitura dei boschi, dell'agricolo...). In pratica è stato prodotto un SVG per ogni voce di legenda il cui *style* non fosse derivabile direttamente dalle primitive geometriche interessate. La scelta dell'SVG è giustificata dalla possibilità di scalare ed orientare i simboli, così come di modificare tipi e stili linea in funzione del dettaglio e della cartografia da realizzare, rendendo disponibili le simbologie in file non proprietari e comunque trasferibili in formato CAD per successive elaborazioni.

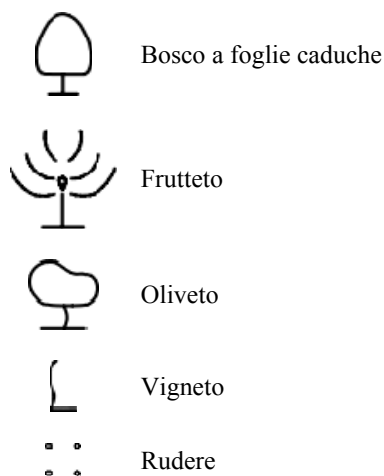


Figura 1 – Esempi di SVG della *Symbol Table*.

- Definizione degli *style* di ogni *layer* in SLD, richiamando se del caso gli SVG di cui al punto precedente. Naturalmente l'SLD non è altro che un file XML (ed in quanto tale editabile ed auto documentato) associato ad un certo *layer* di rappresentazione. L'associazione dell'SLD di ogni *layer* è stata eseguita o antecedentemente al caricamento tramite un software *Open Source* di editing specifico (Atlaslyer SLD editor, [www.geopublishing.org](http://www.geopublishing.org)). o direttamente in Geoserver 2.1. Entrambi consentono di richiamare degli SVG nell'editing dell'SLD, ma nel primo caso i simboli possono essere solo quelli contenuti nel DB pubblicato in rete all'indirizzo [www.freemapsymbols.org](http://www.freemapsymbols.org). Su tale DB sono stati caricati gli SVG di sperimentazione (nella cartella SVG/DBTopo, generati nel corso della presente sperimentazione).

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<sld:StyledLayerDescriptor xmlns="http://www.opengis.net/sld" xmlns:sld="http://www.opengis.net/sld"
xmlns:ogc="http://www.opengis.net/ogc" xmlns:gml="http://www.opengis.net/gml" version="1.0.0">
  <sld:NamedLayer>
    <sld:Name>L040402_IGM</sld:Name>
    <sld:UserStyle>
      <sld:Name>AtlasStyler 1.7</sld:Name>
      <sld:Title/>
      <sld:FeatureTypeStyle>
        <sld:Name>SINGLE_SYMBOL_LINE</sld:Name>
        <sld:Title>SingleLineSymbolRuleList</sld:Title>
        <sld:FeatureTypeName>Feature</sld:FeatureTypeName>
        <sld:Rule>
          <sld:Title>default{L040402_IGM.shp}</sld:Title>
          <ogc:Filter>
            <ogc:And>
              <ogc:PropertyIsEqualTo>
                <ogc:Literal>ALL_LABEL_CLASSES_ENABLED</ogc:Literal>
                <ogc:Literal>ALL_LABEL_CLASSES_ENABLED</ogc:Literal>
              </ogc:PropertyIsEqualTo>
              <ogc:PropertyIsEqualTo>
                <ogc:Literal>1</ogc:Literal>
                <ogc:Literal>1</ogc:Literal>
              </ogc:PropertyIsEqualTo>
            </ogc:And>
          </ogc:Filter>
          <sld:MaxScaleDenominator>1.0E20</sld:MaxScaleDenominator>
          <sld:LineSymbolizer>
            <sld:Geometry>
              <ogc:PropertyName>the_geom</ogc:PropertyName>
            </sld:Geometry>
            <sld:Stroke>
              <sld:CssParameter name="stroke-width">7.5</sld:CssParameter>
              <sld:CssParameter name="stroke-dashoffset">1.0</sld:CssParameter>
              <sld:CssParameter name="stroke-dasharray">7.5 100.0</sld:CssParameter>
            </sld:Stroke>
          </sld:LineSymbolizer>
          <sld:LineSymbolizer>
            <sld:Geometry>
              <ogc:PropertyName>the_geom</ogc:PropertyName>
            </sld:Geometry>
            <sld:Stroke/>
          </sld:LineSymbolizer>
        </sld:Rule>
      </sld:FeatureTypeStyle>
    </sld:UserStyle>
  </sld:NamedLayer>
</sld:StyledLayerDescriptor>
```

Figura 2 – Esempio di SLD dell'oggetto "albero".

Tuttavia a causa dalle limitazioni imposte da tale software in particolare nella costruzione di alcuni casi complessi di simbolizzazione, dopo una prima fase di avvio, si è proteso per l'elaborazione degli SLD direttamente su Geoserver;

- Pubblicazione su Geoserver dei *layer* di rappresentazione applicando la vestizione definita in SLD (<http://149.139.16.20:8080/ARDITO/>). In questa fase si sono testati i risultati finali

della sperimentazione e messe a punto le rappresentazioni più complesse (es. ponti, scarpate, muri di sostegno, etc.). Seguendo l'approccio *map-on-demand*, sono stati così valutati i risultati della rappresentazione cartografica derivata da un DBT in un ambiente dinamico.

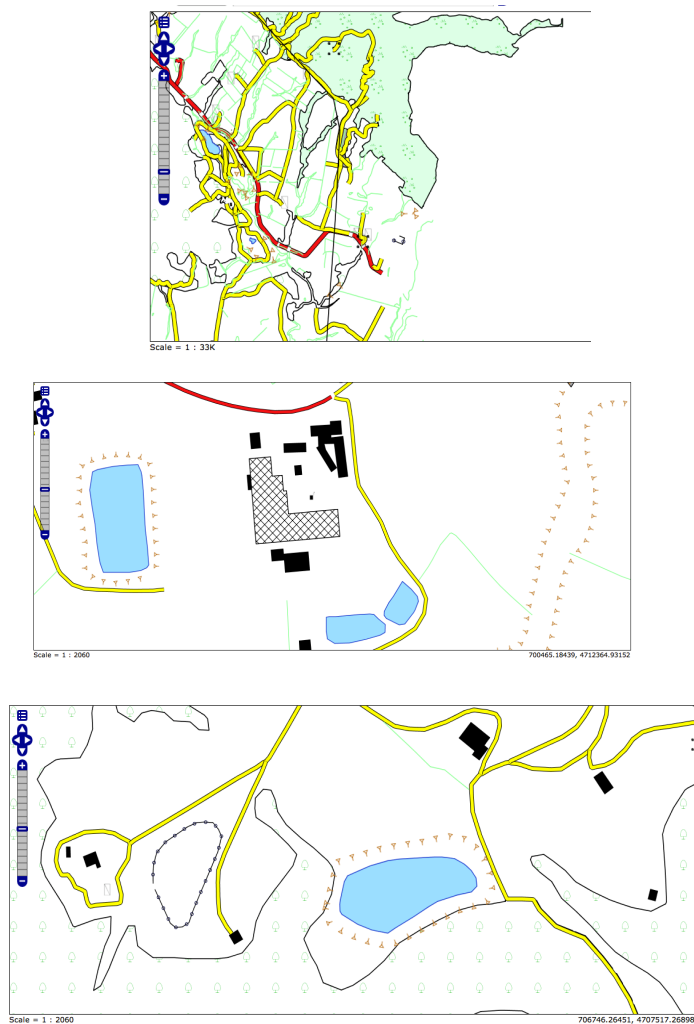


Figura 3 – Esempi di visualizzazione tramite GeoServer e gli SLD preparati.

Trattandosi di attività sperimentale ci si è avvalsi delle potenzialità di fare evolvere e modificare in corso d'opera i processi e le scelte con un certo grado di libertà e flessibilità d'azione. Questo ha consentito il perseguimento dei risultati attesi in un breve lasso di tempo ed a costi contenuti, focalizzando in questa prima fase l'attenzione più sugli aspetti di fattibilità che sulla complessità dei dettagli della rappresentazione.

### **Criticità e Risultati**

Tra le criticità si è evidenziata principalmente la mancanza di automazione nella scelta delle gerarchie di stampa, organizzate in estemporanea al momento della visualizzazione tramite caricamento dei *layer* secondo una certa sequenza. Un'altra soluzione, in vero poco praticata anche nel settore di allestimento cartografico tradizionale, riguarda la formalizzazione di tali caratteristiche di stampa nell'ambito dei contenuti, come ad esempio la suddivisione dei tratti di strada in sottopasso/sovrappasso, le priorità di stampa di ponti, edificato, elementi divisorii etc... Da non trascurare tuttavia che, in questo secondo caso, dovranno essere gestite le eccezioni che dipendono dalle peculiarità del territorio da rappresentare. Quindi nella fase di sperimentazione si trattava di scegliere se determinare le gerarchie di stampa staticamente, elaborando i contenuti del DBT anche in funzione di queste caratteristiche, o demandare quest'onere ad una fase di elaborazione *on-the-fly* in grado di recepire istanze di rappresentazioni di *layer* parziali per scopi specifici, anche diversi da quelli relativi alla base topografica. Perseguendo gli obiettivi generali della ricerca in questo settore, si è propeso per questa seconda soluzione sia in ragione di una maggior economicità nella realizzazione della pubblicazione cartografica in rete, che in funzione di futuri sviluppi tecnologici per un trasferimento operativo a supporto dei servizi della Regione Toscana. Il passaggio dalla sperimentazione all'operatività necessita pertanto di una maggiore formalizzazione e standardizzazione delle singole fasi e processi e di un affinamento della rappresentazione cartografica in termini qualitativi.

Un altro elemento di riflessione ha riguardato lo studio della semiologia, che in questa sperimentazione non è stata rielaborata ma semplicemente recepita dalla cartografia topografica, mentre andrebbe adeguata alle nuove esigenze di comunicazione "visiva" dei contenuti in rete, oltre che condivisa per vari livelli di applicazione. Inoltre, la rapida evoluzione tecnologica nell'elaborazione delle immagini, in particolare l'efficace applicazione delle trasformate *Wavelets* per le fasi di visualizzazione a scale differenti, renderà più obsoleto e costoso progettare una vestizione simbolica, ancorché dinamica, dei contenuti del DBT, poiché la loro lettura vettoriale potrà essere sempre supportata da sfondi di immagini orto rettificate. Ogni forma di vestizione con alto livello di dettaglio, richiedendo una specifica memorizzazione vettoriale (ad es. i comignoli di un'abitazione), potrebbe così risultare superflua a fronte di visualizzazioni "al vero" del medesimo particolare.

In sintesi le criticità riscontrate sono le medesime che interessano la rappresentazione cartografica della cartografia numerica (gerarchie, qualità della rappresentazione, automazione e correlazione tra contenuti e loro simbolizzazione). A valle di queste considerazioni emergono quindi i risultati fondamentali di questo lavoro: la verifica positiva della fattibilità della derivazione della rappresentazione cartografica a partire da un DBT, la pubblicazione e visualizzazione dinamica in rete adottando soluzioni *Open Source*, e la valutazione dell'utilità di tale approccio in funzione dell'evoluzione tecnologica con un necessario approfondimento della semiologia adottata.

### **Ringraziamenti**

Si ringrazia la Regione Toscana, Settore Sistema Informativo Territoriale ed Ambiente, per la disponibilità all'utilizzo dei dati del DB Topografico.



### **Riferimenti bibliografici**

W3C SVG (2011), "Scalable Vector Graphics (SVG) 1.1 (Second Edition)",

<http://www.w3.org/TR/SVG/>

Corongiu et al. (2010), "La derivazione del DB25 dell'IGM dal DB Topografico di Regione Toscana", Atti 14ª Conferenza Nazionale ASITA, 9 – 12 novembre 2010, Fiera di Brescia

OGC FE, (2010), "09-026r1: OpenGIS Filter Encoding 2.0 Encoding Standard"

<http://www.opengeospatial.org/standards/filter>

OGC SLD (2007), "05-078r4: Styled Layer Descriptor Profile of the Web Map Service Implementation Specification", <http://www.opengeospatial.org/standards/sld>

OGC SE (2006), "05-077r4: OpenGIS Symbology Encoding Implementation Specification", <http://www.opengeospatial.org/standards/se>

DBT\_RT (2008), "Specifiche tecniche per la creazione del DB topografico attraverso la ristrutturazione multiscala della CTR 2K e 10K della Regione Toscana con l'introduzione di elementi concettuali, logici e topologici definiti da Intesa-GIS per i DB topografici" [http://www.rete.toscana.it/sett/territorio/carto/repertorio/G-Alleg\\_Specif\\_tecn.pdf](http://www.rete.toscana.it/sett/territorio/carto/repertorio/G-Alleg_Specif_tecn.pdf)

INTESAGIS (2006), "1n1007\_6\_vers2006\_3-3, Specifiche per la realizzazione di DataBase Topografici di interesse generale, Catalogo degli Oggetti,

[http://www.cnipa.gov.it/site/it/IT/Attivit%c3%a0/Sistemi\\_Informativi\\_Territoriali/Precedente\\_comitato\\_dati\\_territoriali/DB\\_topografici/](http://www.cnipa.gov.it/site/it/IT/Attivit%c3%a0/Sistemi_Informativi_Territoriali/Precedente_comitato_dati_territoriali/DB_topografici/)



## Caratteri morfo-sedimentologici per la classificazione dei fondali marini

Nicola Corradi (\*), Maurizio Demarte (\*\*), Roberta Ivaldi (\*\*), Rosario Lapira (\*\*)

(\*) Dip.Te.Ris., Università degli Studi di Genova, C.so Europa 26, 16132 Genova

Tel. +39 0103538261, Fax +39 010352169, e-mail corradi@dipteris.unige.it

(\*\*) Istituto Idrografico della Marina, Passo Osservatorio 4, 16100 Genova

Tel. +39 0102443318, Fax +39 0102443364, e-mail roberta.ivaldi@alice.it

### Riassunto

Sono presentati i risultati di uno studio finalizzato alla classificazione morfo-sedimentologica dei fondali, eseguito lungo i settori costieri liguri di Loano e Portofino e quello toscano di Castiglione della Pescaia. L'impiego di ecoscandagli *multi-beam* ha permesso di registrare un numero notevole di informazioni, quali la copertura ad alta definizione del fondale e la registrazione del *backscatter* acustico. L'analisi del *backscatter*, associata a un'idonea e preventiva azione di calibrazione, ha fornito uno strato informativo della natura del fondale marino (es. caratteri fisiografici, sedimentologici, bentonici) che, aggiunto ad una cartografia ad alta definizione, ha permesso la realizzazione di data-set tematici quale elemento di estremo interesse per lo studio dell'ambiente marino, come aree fortemente antropizzate, aree marine protette o ambienti marino costieri particolarmente sensibili. L'uso di *software* dedicati ha fornito una prima classificazione del fondale attraverso l'analisi dell'amplitudine e delle proprietà statistiche del segnale di *backscatter*. Questo è stato integrato da un sistema di calibrazione diretto da cui il prodotto finale di classificazione del fondale marino.

### Abstract

This study presents results of an approach for the seafloor classification and mapping based on an integrated analysis of multi-beam bathymetric data, associated geo scientific information, and benthos data from Loano and Portofino shelf (Liguria) and Castiglione della Pescaia shore (Tuscany). Based on sea floor sediment maps and analysis of backscatter, different classes were derived and mapped (morphological features, sediment grain size, habitats). The seabed nature is distinguished primarily on the basis of sediment type and water depth. Additional factors are the seafloor geomorphology, habitat complexity and relative current strength. This study highlights the utility of multi-beam bathymetric sonar for interpretation of the sea floor sediments and for extrapolating benthic habitat characteristics across large areas of sea floor.

### Introduzione

La conoscenza dei siti sottomarini richiede non solo un accurato rilievo di forme e profondità dei fondali, ma sempre più spesso informazioni sulle proprietà fisiche dei sedimenti. La classificazione del fondale marino può essere eseguita visivamente, meccanicamente e acusticamente (Kostylev et al., 2001). Tutti i metodi visivi (subacqueo, video, foto) e meccanici (subacqueo, bennate, carotaggi, sondaggi), in quanto puntuali, sono lenti e manualmente intensivi, anche dispendiosi e non adatti ad un lavoro di rilievo esteso. I metodi acustici (*single-beam*, *multi-beam*, *side-scan sonar*), invece, possono coprire grandi aree rapidamente senza alcuna necessità di fermare il rilievo della nave. Tuttavia la classificazione che usa solo dati acustici, in assenza di verità a mare, è possibile solo in situazioni specifiche e non consuete grazie alla particolare elaborazione del segnale di *backscatter* (Brown et al., 2011; Lastras et al., 2011).

L'importanza del *backscatter* è di poter studiare le differenti risposte acustiche registrate su di un fondale da cui si può risalire ai suoi caratteri morfo-sedimentologici e composizionali (Canepa et al., 1997). Questo rappresenta un metodo più rapido della campionatura e restituisce informazioni omogenee della natura del fondo. La scelta dell'elaborazione del dato di *backscatter* del *multi-beam* rispetto a quello del *side-scan* è supportata dal maggior dettaglio e discriminazione nelle variazioni di facies registrate e da come l'influenza della morfologia sia minore e sia corretta successivamente in fase di elaborazione (Collier, Brown, 2005). La variabilità spaziale dell'intensità di *backscatter* può essere determinata come risultato dell'interazione tra le proprietà fisiche del fondale marino e l'energia acustica (Canepa et al., 1997). Il problema è a che grado di precisione è possibile classificare quelle variazioni (Ellingsen et al., 2002). La più semplice è assegnare variazioni di grigio a tipi discreti di sedimento, come affioramenti rocciosi, campi di blocchi, sabbia, fango, ecc. (Hughes Clarke et al., 1997). In teoria, infatti, differenti tipi di fondale marino restituiscono una caratteristica firma di risposta che rende percorribile l'implementazione di sistemi di classificazione del fondale (De Falco et al., 2010; Brown et al., 2011). In pratica questo è lontano dall'essere raggiunto dal coefficiente di riflessione, rugosità superficiale e volume di riverberazione perché sono individualmente complessi e l'effetto combinato è davvero difficile da gestire.

Il segnale di *backscatter* dipende pertanto da variabili come l'angolo di incidenza dell'onda acustica con il fondale, l'area insonificata, l'assorbimento nella colonna d'acqua e soprattutto dalle proprietà fisiche del fondale (rugosità, impedenza acustica e coefficiente di riflessione del sedimento). Le proprietà fisiche del fondale marino hanno una diretta influenza nei processi di attenuazione e dispersione del segnale acustico. Per questa ragione esistono diversi approcci di cui il più comune e semplice è quello che si riferisce all'analisi tessiturale (Hughes Clarke et al., 1997; Collier, Brown, 2005), ma che in realtà risulta limitato in un'analisi della natura del fondo dove altre proprietà giocano un ruolo importante nella sua classificazione (Canepa et al., 1997; De Falco et al., 2010; Brown et al., 2011).

Diversi gruppi di ricerca si occupano dello studio del segnale di *backscatter* con lo sviluppo di *software* per gestire e processare il segnale, applicando diverse correzioni: radiometrica, geometrica, segnale-rumore e una correzione dalla dipendenza dell'angolo di incidenza per generare una mappa di *backscatter* (es. il Cooperative Research Centre for Coastal Zone – Australia con un toolbox in ambiente Matlab, l'Ocean Mapping Group dell'Università canadese del New Brunswick con il SwathEd, la Quester Tangent Corporation con i moduli QTC Multiview e Swatview).

In alcuni casi gli studi si sono anche focalizzati sulla classificazione dei sedimenti attraverso l'utilizzo delle cosiddette curve di *angular response* (AR), ottenute plottando i valori di intensità di *backscatter* in funzione dell'angolo di incidenza oppure in altri casi l'attenzione si è rivolta all'uso di *software* come i moduli QTC che danno invece la possibilità di suddividere l'area del rilievo in classi, attraverso algoritmi statistici legati al tipo di strumento acustico impiegato ed alla zona oggetto di indagine.

In particolare applicando l'analisi dell'AR a diversi tipi di fondale è stata identificata una correlazione tra l'andamento di queste curve e i sedimenti redigendo otto classi (Hughes Clarke et al., 1997): fango limoso, sabbia media, sabbia ghiaiosa grossolana con ciottoli, sabbia grossolana, sabbia media, sabbia grossolana sovrapposta a ghiaia, sabbia media con ciottoli, sabbia medio-grossolana. Recentemente sono state individuate classi appartenenti alle facies acustiche di praterie di fanerogame, tipiche del Mediterraneo, come la *Posidonia oceanica* (De Falco et al., 2010).

Elemento di grande forza dell'elaborazione QTC è, invece, la fusione di tecniche di statistica multivariata che permettono l'uso di molte forme (Preston et al., 2004). L'esperienza ha mostrato che alcune forme sono importanti in classificazioni standard: fango, sabbia, ghiaia e così via. Altre sono importanti per classificazioni più specializzate come discriminare tra miscele di sabbia/fango (Preston et al., 2005) o la distinzione di habitats (Kostylev et al., 2001; Ellingsen et al., 2002).

E' noto che le caratteristiche statistiche di un'immagine acustica di *backscatter* dipendano dal tipo di fondale marino. Alcune differenze tessiturali sono chiare senza difficoltà. Differenze tra limo e argilla sono meno evidenti. L'elaborazione statistica può cogliere molti dei dettagli pertinenti di

interazione tra il suono e il fondale e del suo rilievo verticale. La statistica multivariata può quindi isolare quei dettagli che sono ricchi di informazione del fondale (geometria, consistenza, struttura), producendo elementi contenenti informazioni necessarie per classificazioni del fondale accurate e attendibili.

In questo lavoro è presentata la classificazione del fondale marino ottenuta da dati batimetrici areali, acquisiti nei settori marino-costieri liguri di Loano - Ceriale, Portofino e quello toscano di Castiglione della Pescaia, e dall'elaborazione dei dati di *backscatter* integrati con quelli di tipo diretto. In particolare nel caso di Loano - Ceriale è fornita un'analisi di dettaglio dell'intercalibrazione del segnale acustico con i dati acquisiti per il progetto BEACHMED-E INTERREG IIIC per lo studio pilota per la ricerca di depositi di sedimenti marini idonei all'impiego di ripascimento dei litorali (Balduzzi *et al.*, 2009), nel caso di Portofino si fa riferimento ad una piattaforma limitata da costa alta rocciosa tipo *plunging cliff* (Sunamura, 1983), dove un assetto generalmente uniforme può presentare particolarità di interesse nella classificazione del fondale marino; infine per Castiglione della Pescaia si è sviluppato il sistema di classificazione di un sito litorale costiero a costa bassa in supporto al progetto M-REA (Maritime-REA), per la caratterizzazione rapida di un tratto di mare interessato da eventi calamitosi (Demarte *et al.*, 2008).

## Metodi

Per la realizzazione della classificazione della natura del fondale sono stati elaborati dati batimetrici areali impiegando sistemi acustici *multi-beam* e moduli QTC (*software* Multiview), calibrati da verità a mare (15 campionamenti diretti del fondale eseguiti con benna Van Veen e 3 con carotiere a gravità SW 104). Nella fase di realizzazione del mosaico di *backscatter* e della superficie batimetrica del fondale marino è stato utilizzato il *software* Caris HIPS/SIPS. I dati acustici sono stati acquisiti usando un sistema MBES EM3000 (Kongsberg Simrad) ad alta frequenza (30 kHz) secondo linee parallele alla costa e copertura completa dell'area, con sovrapposizione superiore al 30%.

Per ogni set di dati grezzi si è proceduto all'analisi dei principali elementi con la selezione dei caratteri più utili. Il *software* trascura tipi che sono costanti, mentre sono accettate le ridondanze, ma solo se rilevanti. E' fornito così un insieme di elementi che, in modo compatto, descrive la diversità della serie di dati. Alcuni elementi possono avere piccole diversità o essere strettamente correlati se usati a descrivere una serie di sedimenti di fondale marino come sabbia e ghiaia di piattaforma continentale aperta; in realtà il loro significato è più complesso se riferito a sedimenti deltizi. Pertanto la connessione tra elementi e classificazione si adatta al carattere della serie di dati. L'elaborazione statistica multivariata della risposta acustica riesce pertanto a isolare le diverse combinazioni (in generale 3 e chiamati spazio Q) degli elementi responsabili delle variazioni con la creazione di un catalogo. Si classifica quindi il fondo secondo un insieme di *cluster* che si adatta ai dati *multi-beam*, dove ciascun *cluster* rappresenta un tipo di fondo a cui sono associate diverse informazioni (posizione, batimetria, intensità di *backscatter*) (Preston *et al.*, 2004).

E' importante ricordare che ciascun catalogo è specifico per il sistema sonar usato nell'acquisizione dei dati e può anche essere specificato per particolari condizioni operative del sonar. I cataloghi a loro volta si possono basare su una serie di immagini sonar campione o campionamenti di tutta la serie di dati. A questo segue l'elaborazione della natura del fondo dopo la fase di validazione e controllo di qualità secondo gli standard internazionali con la rimozione dei punti non accettabili (IHO, 2000; 2008). Il prodotto finale è un file ASCII che include posizione, profondità, valore Q, classe assegnata, valore di confidenza e probabilità di ciascuna registrazione e che può essere importato in *software* cartografici per la produzione di plot, modelli 3D e come *layer* di sistemi GIS.

## Risultati

I risultati ottenuti sono il prodotto di elaborazione di sei serie di dati batimetrici areali in riferimento alle campagne di acquisizione delle navi idrografiche della Marina Militare (Aretusa, Galatea e

Magnaghi): una per Loano - Ceriale e Portofino e tre per Castiglione della Pescaia, secondo procedure separate in sezioni rettangolari diverse. La qualità dei dati di questi rilievi è caratterizzata da un'ottima densità areale con scarsa presenza di anomalie e un grado di accuratezza di acquisizione coerente con le specifiche richieste dall'ordine 1A (IHO, 2008).

In particolare i dati rappresentati in figura 1 sono il prodotto di elaborazione di una delle serie di dati acquisiti nel settore costiero di Castiglione della Pescaia. In prima analisi, trattandosi di spiaggia e piattaforma continentale interna, sono stati puliti dalle profondità superiori a 100 m, escludendo angoli di incidenza 80-90° e 0-30°. Il fondale marino è stato suddiviso dal *software* QTC Multiview in piccoli rettangoli disposti secondo qualità del dato, insonificazione, angolo di incidenza e in base alle classi scelte, rappresentative dei diversi substrati presenti. La grandezza del rettangolo ri (Fig. 1 a destra) è pari a 65 *pixel* trasversalmente alla rotta e 33 *pixel* lungo la rotta. Questo presenta nel caso specifico un *footprint* pari a circa 3.5 - 7.8 m. La classificazione acustica (Fig. 1) è stata applicata, per questa serie di dati di Castiglione della Pescaia, approssimativamente a 30000 punti secondo cinque classi acustiche distinte che riportano una certa coerenza nella mosaicatura del *backscatter*, elemento di controllo.

Questa procedura è stata seguita per tutte le serie di dati presentate e riferite alle tre aree studio con l'applicazione ad un totale di circa 135.000 punti, per un *footprint* approssimativo da 1-3 m per le aree a bassa profondità (0-5 m) fino a 21.5 - 23.2 m nel caso di aree di piattaforma (es. Portofino).

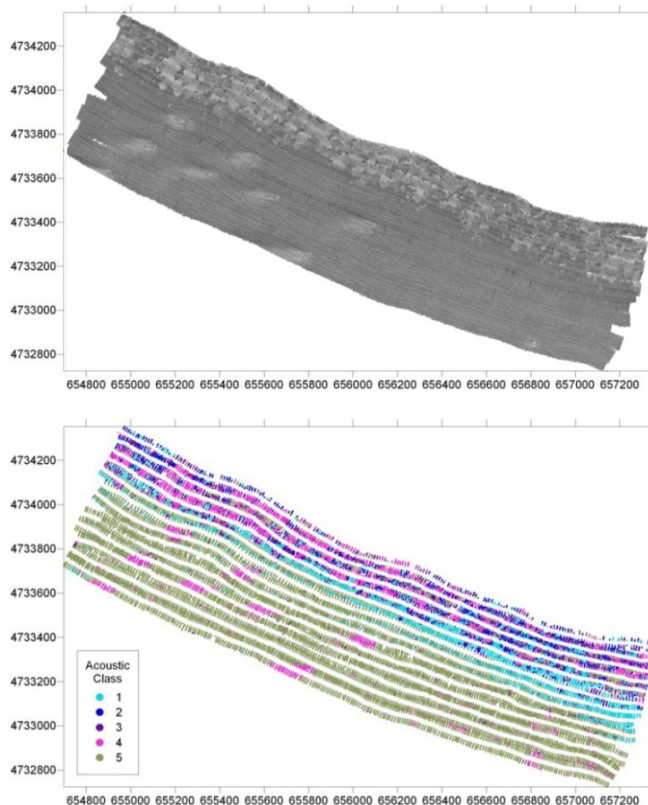


Figura 1 – Mosaicatura del *backscatter* (in alto). Classificazione acustica del fondale marino (in basso). Classe acustica 1: materiale riflettente con alti valori di *backscatter*; classe acustica 5: materiale poco riflettente con bassi valori di *backscatter*.



I colori usati per tutti i risultati della classificazione acustica sono definiti colori comuni per cui fondali acusticamente simili (segnale di *backscatter*) sono definiti da colori simili. Figure 1 e 2 presentano classi distinte acusticamente.

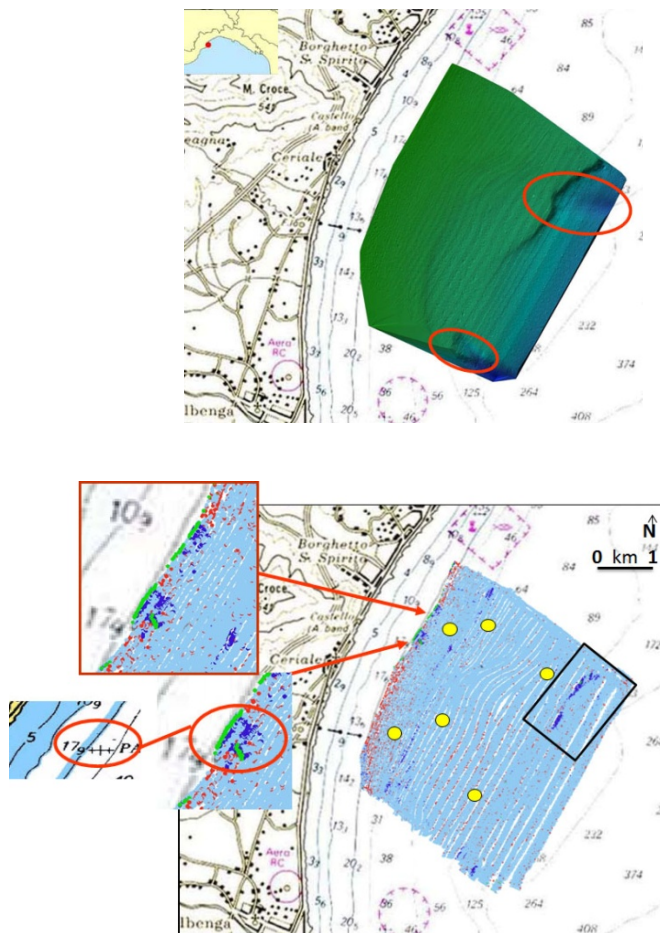


Figura 2 – Settore costiero Loano - Ceriale. Modello 3D batimetrico (in alto) con variazione di pendenza in corrispondenza dell'ovale rosso. Classificazione acustica del fondale (in basso): in verde: basso backscatter; in rosso: alto backscatter. Variazione classi acustiche per morfologia, tipo di sedimento (rettangolo nero) e benthos (rettangolo rosso). Cerchio giallo: siti campionamento diretto di sedimento. Ovale con freccia rossa: relitto.

La fase successiva è stata quella di riportare un tipo di fondale marino assoluto e questo è stato possibile solo con una calibrazione diretta e una caratterizzazione delle proprietà fisiche (Tab. 1). La classificazione è stata quindi integrata con informazioni del fondale che andassero a caratterizzare elementi morfologici (es. barre, canali, depositi rocciosi), benthonici (es. praterie di fanerogame), antropici (relitti) e sedimentologici (es. tessitura, consistenza) con l'acquisizione sia di dati presenti in letteratura e nella banca dati dell'Istituto Idrografico della Marina sia di dati nuovi con campionamento diretto del fondale (Figg. 2 e 3).

Tabella 1 – Caratterizzazione natura del fondo (IHO, 2000; 2008) dei campioni di sedimento superficiale riportati in figura 2. *hM*: fango duro, *soM*: fango molle, *fS*: sabbia fine, *Sh*: conchiglie.

| Campione | Latitudine<br>(N) | Longitudine<br>(E) | Natura del fondo   |            |        |
|----------|-------------------|--------------------|--------------------|------------|--------|
|          |                   |                    | IHO S - 44         | IHO S - 57 |        |
|          |                   |                    |                    | NATSUR     | NATQUA |
| 1        | 44° 06' 17.4"     | 008° 15' 23.2"     | <i>hM</i>          | 1          | 7      |
| 2        | 44° 05' 27.6"     | 008° 14' 28.2"     | <i>hM</i>          | 1          | 7      |
| 3        | 44° 06' 30.0"     | 008° 15' 42.0"     | <i>soM, fS, Sh</i> | 1,4,17     | 6,1    |
| 4        | 44° 05' 31.2"     | 008° 15' 4.08"     | <i>hM, Sh</i>      | 1,4,17     | 7,1    |
| 5        | 44° 05' 41.7"     | 008° 16' 37.6"     | <i>soM</i>         | 1          | 6      |
| 6        | 44° 04' 42.7"     | 008° 15' 51.5"     | <i>soM</i>         | 1          | 6      |

In particolare i rilievi eseguiti nell'estate 2008 nel settore marino antistante all'abitato di Loano - Ceriale hanno fornito l'assetto morfologico con un elevato dettaglio ed evidenziato dall'elaborazione batimetrica 3D. Sono discriminabili, a una regolare morfologia del fondale marino, strutture a barre a sviluppo longitudinale rispetto a costa entro i 15 m di profondità con altezza e ampiezza di poche decine di centimetri, una piattaforma continentale che dalla profondità di 60 m presenta un cambiamento di pendenza, indicativo questo di una subsidenza più elevata della piattaforma esterna, più evidente nel settore di SW. In corrispondenza del ciglio della piattaforma il gradiente del fondale marino cambia bruscamente con la presenza a NE dell'area di numerose piccole incisioni che si possono riferire a piccoli canali che a più elevate profondità convergono in un canyon. L'elaborazione tridimensionale dei dati batimetrici ha confermato la localizzazione di depositi litorali trasgressivi, secondo strutture allungate in rilievo che vanno ad alterare l'omogeneità morfologica della piattaforma continentale.

La successiva elaborazione del mosaico di *backscatter* con il *software* QTC Multiview ha prodotto una classificazione acustica del fondale (Figg. 2 e 3) che evidenzia non solo le differenti proprietà fisiche dei sedimenti (Tab. 1) seppur caratterizzato prevalentemente da materiali che, nel caso di Loano - Ceriale, tendono ad assorbire il segnale acustico, ma anche la presenza di particolari strutture che alterano una generale omogeneità della natura del fondale marino quali elementi naturali e antropici (barre, praterie di fanerogame, canali, relitti).

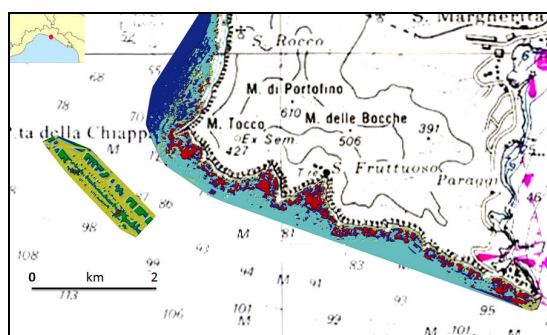


Figura 3 – Natura del fondale marino del settore costiero di Portofino da classificazione acustica e calibrazione dati diretti. In verde: fango molle (verde chiaro), fango duro (verde scuro); in azzurro: fango e sabbia fine con ghiaia; in blu: sabbia con ghiaia; in rosso: substrato duro (roccia a blocchi area litorale, relitto area piattaforma).

I risultati della classificazione acustica sono stati molto soddisfacenti e la suddivisione in classi è stata per tutte le regioni analizzate coerenti con i mosaici di *backscatter*.

La realizzazione della mappatura della natura del fondale marino è quindi il prodotto finale di questa elaborazione integrata con verità in situ ed è presentata sul modello batimetrico dell'area di indagine (Fig. 4). Questa carta, attualmente in fase sperimentale, risulta di facile consultazione con un limitato numero di informazioni (massimo 12 classi) che sintetizzano gli standard internazionali (IHO, 2000; 2008), fornendo un esaustivo quadro conoscitivo di elementi morfo-sedimentologici del settore di interesse, contribuendo ai data-set tematici quale elemento di estremo interesse per lo studio dell'ambiente marino di aree di particolare sensibilità ambientale (settori costieri ad elevata dinamicità, aree fortemente antropizzate, aree marine protette).

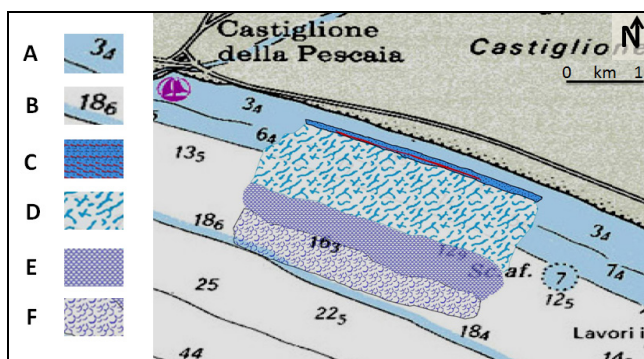


Figura 4 – Esempio di classificazione della natura del fondale marino del settore costiero di Castiglione della Pescaia. A: settore entro 10 m di profondità; B: profondità 20 m; C: sabbia medio-fine con barre; D: sabbia fine; E: sabbia fine fangosa con barre; F: fango molle sabbioso.

### Considerazioni conclusive

Anche se l'informazione negli eco e nel *backscatter* del fondale non è abbastanza specifica per fornire con sicurezza quale sia la natura del sedimento, il sistema integrato di analisi di dati batimetrici applicato in tre settori marini litorali italiani si è mostrato un utile strumento conoscitivo circa la natura del fondale. Elemento di forza della classificazione acustica effettuata con il sonar batimetrico multifascio è la capacità di integrare classificazioni visive o meccaniche di dati puntuali, su aree più estese. Le proprietà dei sedimenti ottenute da punti di campionamento possono essere applicate con sicurezza su intere regioni che siano state cartografate acusticamente. Questa particolare elaborazione dei dati acustici ha permesso una classificazione e mappatura della natura del fondo a copertura totale, con un elevato livello di confidenza. I risultati ottenuti, opportunamente validati, hanno confermato l'affidabilità del *software* QTC Multiview, fornendo una preziosa banca dati della natura del fondale secondo standard internazionali, a supporto di scopi con specificità più varie quali la geomorfologia, la complessità dell'habitat e la relativa energia di corrente.

### Bibliografia

- Balduzzi I., Corradi N., Ferrari M., Ivaldi R. (2009), "Transgressive submarine deposits for beach nourishment (Ligurian Sea, NW Mediterranean)", *Proceedings of 27<sup>th</sup> IAS Meeting of Sedimentologists*, 49-54.
- Brown C.J., Smith S.J., Lawton P., Anderson J.T. (2011), "Benthic habitat mapping: a review of progress towards improved understanding of the spatial ecology of the seafloor using acoustic techniques", *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 92: 502-520.
- Canepa A., Corradi N., Ivaldi R., Serracca P. (1997), "Verifica di un metodo di correlazione fra parametri acustici e geotecnici nei sedimenti superficiali del settore occidentale del Golfo di Taranto", *Atti XII Congresso AIOL*, I: 39-49.

- Collier J.S., Brown C.J. (2005), "Correlation of sidescan backscatter with grain size distribution of surficial seabed sediments", *Marine Geology*, 214: 431-449.
- De Falco G., Tonielli R., Di Martino G., Innangi S., Simeone S., Parnum I.M. (2010), "Relationship between multibeam backscatter, sediment grain size and *Posidonia oceanica* seagrass distribution", *Continental Shelf Research*, 30: 1941-1950.
- Demarte M., Di Vasta P., Ivaldi R., Milli M., Surace L. (2008), "Acquisizione di parametri morfodinamici di una spiaggia", *Atti 12<sup>a</sup> Conferenza Nazionale ASITA*, 1125-1130.
- Ellingsen K. E., Gray J.S., Bjornbom E. (2002), "Acoustic classification of seabed habitats using the QTC View system", *ICES J. of Marine Science*, 59: 825-835.
- Hughes Clarke J.E., Danforth W., Valentine P. (1997), "Areal seabed classification using backscatter angular response at 95 kHz", *SACLANTCEN Conference on High Frequency Acoustics in Shallow Water, Conf. Proc. Ser.*, 45: 243-250.
- IHO - International Hydrographic Organization (2000), *IHO Transfer Standard for Digital Hydrographic data*, S - 57, International Hydrographic Bureau, 3.1: 114 pp.
- IHO - International Hydrographic Organization (2008), *IHO Standards for Hydrographic Surveys*, S - 44, International Hydrographic Bureau, 5<sup>th</sup> Ed., 28 pp.
- Kostylev V.E., Todd B.J., Fader G.B.J., Courtney R.C., Cameron G.D.M., Pickrill R.A. (2001), "Benthic habitat mapping on Scotian Shelf based on multibeam bathymetry, surficial geology and sea floor photographs", *Marine Ecology Progress Series*, 219: 121-137.
- Lastras G., Canals M., Amblas D., Lavoie C., Church I., De Mol B., Duran R., Calafat A.M., Hughes-Clarke J.E., Smith C.J., Heussner S. and "Euroleón" cruise shipboard party (2011), "Understanding sediment dynamics of two large submarine valleys from seafloor data: Blanes and La Fonera canyons, northwestern Mediterranean Sea", *Marine Geology*, 280: 20-39.
- Preston J.M., Christney A.C., Beran L.S., Collins W.T. (2004), "Statistical seabed segmentation – from images and echoes to objective clustering", *Proc. 7<sup>th</sup> European Conf. on Underwater Acoustic*, 813-818.
- Preston J.M., Christney A.C., Collins W.T. (2005), "Automated acoustic seabed classification for swath images", [ifremer/dtmsi/colloques/search04/xlurton/B2\\_sonar\\_dataprocessing\\_1/Preston.pdf](http://ifremer.dtmsi.colloques/search04/xlurton/B2_sonar_dataprocessing_1/Preston.pdf), 1-7.
- Sunamura T. (1983), "Processes of sea cliff and platform erosion", in: *CRC Handbook of Coastal Processes and Erosion*, a cura di P.D. Komar, 233-265.

## **Il mare: benessere o discarica? Sistemi informativi come supporto al traffico marittimo e per la valutazione dell'inquinamento ambientale**

Sonia Corso, Elvio Moretti

(\*) Dipartimento di Scienze di Base e Fondamenti: Matematica, Informatica, Fisica, Chimica, Epistemologia e Storia della Scienza. Università degli Studi di Urbino "Carlo Bo".

Campus Scientifico Sogesta - Località Crocicchia, 61029 Urbino (PU)

Phone +39 0722 304277, Fax+39 0722 304220, sonia.corso@uniurb.it, elvio.moretti@uniurb.it

### **Riassunto**

I carichi inquinanti sversati in mare provengono dalle presenze umane e dalle loro attività produttive esercitate lungo le coste a cui si aggiungono le attività marine (costruzioni, acquacoltura, dragaggi, dumping), gli sversamenti accidentali o volontari legati ai trasporti marittimi e gli incidenti navali. Tra i peggiori disastri ambientali avvenuti ultimamente è da ricordare la marea nera nel Golfo del Messico, la disastrosa situazione in cui versa il delta del Niger e l'incredibile isola di spazzatura (Pacific Trash Vortex) con un diametro di circa 2500 km e una profondità di 30 metri, formata grazie all'azione di una corrente a spirale oceanica che aggrega i rifiuti fra loro. Nel Mediterraneo, il traffico petrolifero è il più consistente tra tutto il trasporto marittimo di merci e rappresenta circa il 20% del traffico mondiale marittimo. Per garantire la sicurezza del mare è sempre più necessario monitorare da vicino tutti i movimenti delle navi ed integrare i vari sistemi di informazione e sorveglianza. Maggiore accuratezza sulle informazioni fornite dal "Modulo di Notifica dei rifiuti prodotti da navi", sulle merci trasportate, sugli equipaggi, sulle condizioni delle navi, al fine di ottimizzare i flussi del traffico, garantire un pronto intervento in caso di incidente, fermare scarichi illeciti in mare e contrastare atti terroristici. Tutti questi aspetti, seguendo un principio di piramidizzazione delle responsabilità, sono affrontati quotidianamente dall'European Maritime Safety Agency (EMSA). In un contesto di globalizzazione del problema, l'utilizzo del GIS, del telerilevamento e dei modelli previsionali porta al superamento delle tradizionali barriere e costituisce una formidabile opportunità per la difesa ambientale. Questo lavoro mostra l'utilità dell'integrazione dei dati satellitari in near real time con i dati di rilevamento convenzionali delle navi, come i radar costieri, il Sistema di Identificazione Automatica (AIS) e il Sistema di Monitoraggio delle Navi (VMS) per il tracciamento delle rotte delle navi da pesca, al fine di localizzare tutte le navi che non segnalano la propria posizione e che potrebbero causare danni all'ambiente.

### **Abstract**

The pollutant loads discharged into the sea come from the presence of humans and their productive activities along the coast in addition to marine activities (construction, aquaculture, dredging, dumping), accidental spills or volunteer related to maritime transport and ship accidents. Among the worst environmental disasters occurring lately is to remember the oil spill in the Gulf of Mexico, the disastrous situation in the Niger Delta and the incredible island of rubbish (Pacific Trash Vortex) with a diameter of about 2500 km and a depth of 30 meters, formed by the action of a spiral oceanic current that aggregates the waste between them. In the Mediterranean sea, the oil traffic is the most consistent throughout the maritime transport of goods, representing about 20% of worldwide shipping. To ensure safety at sea is increasingly necessary to closely monitor all movements of ships and to integrate the various information systems and surveillance. Improved accuracy of information provided by the "Notification Form for ship generated waste", by the cargo, crews, on the condition of ships, in order to optimize the flow of traffic, ensuring quick intervention

in case of accident, stop illegal dumping in the sea and combat terrorist acts. All these aspects, following a criterion of pyramidal responsibilities, are faced daily by the European Maritime Safety Agency (EMSA). In a context of globalization of the problem, the use of GIS, remote sensing and forecasting models leads to overcoming the traditional barriers and it is a formidable opportunity for environmental protection. This work shows the usefulness of the 'integration of satellite data in near real-time with conventional tracking data ships, such as coastal radar, the Automatic Identification System (AIS) and Ship Monitoring System (VMS) for tracing the routes of fishing vessels, in order to locate all vessels not reporting their position and that could cause environmental damage.

### **Inquinamento marino: problema complesso di difficile soluzione**

L'inquinamento è un'alterazione dell'ambiente, di origine umana o naturale, capace di produrre disagi o danni permanenti per la vita di un territorio e che non è in equilibrio con i cicli naturali esistenti. Quando si parla d'inquinamento delle acque, l'individuazione delle fonti diventa molto spesso una questione complessa. Sostanze inquinanti di origine diffusa possono portare a una scarsa qualità dell'acqua e provocare un impatto negativo sugli ecosistemi con un'immediata ripercussione sull'economia e che può mettere a rischio la salute dei cittadini. Spesso vi sono incertezze sulla destinazione, il trasporto dei contaminanti e il relativo contributo dalle differenti sorgenti. Nonostante questa difficoltà vi è attualmente sufficiente comprensione scientifica delle cause e degli effetti dell'inquinamento delle acque da fonte diffusa per predisporre le risposte a livello di gestione adeguate per affrontare questa complessa questione. Il problema dell'inquinamento diffuso delle acque quindi sembra riguardare soprattutto un territorio e la sua gestione. Quando un corso d'acqua, più o meno importante, sfocia nel mare il problema degli inquinanti si trasferisce dall'ambiente terrestre a quello marino dove gli inquinanti tendono a muoversi ancor più velocemente e spesso anche a concentrarsi soprattutto lungo quella sottile interfaccia che è l'ambiente marino costiero. La valutazione quantitativa dei carichi inquinanti può essere effettuata utilizzando metodi indiretti, basati su dati di tipo statistico, o metodi diretti, basati su una sperimentazione di campo. I carichi inquinanti potenziali e la loro distribuzione sul territorio possono essere valutati attraverso un'analisi geostatistica che attraverso opportuni coefficienti numerici attribuiti alle diverse fonti e al posizionamento spaziale delle stesse può generare delle mappe dettagliate di grande efficacia. Lo strumento che ci permette queste operazioni è il GIS che attraverso lo "Spatial Analyst" ed il 3D Analyst può analizzare i fenomeni naturali che si sviluppano su base spaziale a partire dai dati derivanti da un loro campionamento. In particolare lo studio geostatistico si prefigge di valutare la variabilità spaziale dei parametri che descrivono i suddetti fenomeni estraendone le regole in un quadro modellistico di riferimento e usandole per effettuare le operazioni volte a dare soluzione a specifiche problematiche riguardanti la caratterizzazione e la stima dei fenomeni stessi. I metodi della Geostatistica sono applicabili in tutti quei settori delle scienze applicate in cui i fenomeni di studio hanno carattere spaziale, tra questi si possono citare: le scienze geologiche e minerarie, l'idrologia, l'idrogeologia, la scienza dei suoli, l'agronomia, la geotecnica, la geofisica, il telerilevamento, la climatologia, la meteorologia, l'oceanografia, le scienze forestali, la zoologia, l'epidemiologia, l'igiene ambientale. Per poter avviare una analisi geostatistica efficace va, ovviamente, identificata prioritariamente l'area di riferimento alla quale la procedura stessa deve essere applicata. Nel caso delle acque interne, Fig. 1, l'area corrisponde al bacino idrografico sotteso dal corpo idrico oggetto di indagine, mentre maggiori difficoltà si manifestano nel definire il bacino scolante a mare. Tra le sorgenti potenziali d'inquinamento, si possono considerare la popolazione residente nei comuni costieri, quella "fluttuante" rappresentata dal movimento turistico, gli equivalenti industriali e gli equivalenti zootecnici, a questi vanno aggiunti quelli relativi al ciclo operativo della navigazione dovuti alla quantità del traffico marittimo. Gli scarichi volontari che vengono effettuati nonostante i vigenti divieti, gli inquinanti atmosferici, gli scarichi offshore quali il lavaggio delle cisterne nelle aree consentite e gli inquinamenti dovute alle piattaforme di trivellazione. Per quello che concerne i disastri ecologici questi per se non numerosissimi, sono comunque, sempre presenti, e possono rappresentare delle vere e proprie



catastrofi ecologiche ed economiche per le aree interessate. Uno dei principali impatti dell'inquinamento marino è quindi la presenza dell'uomo e quella delle attività che esso svolge. Verrebbe quindi sottovalutato di molto l'inquinamento marino se questo fosse definito sulla base degli incidenti causati dalle petroliere e sui conseguenti oil spill o sulle attività illegali di scarico in mare delle bilge water anche se questi sono gli aspetti più visibili del problema.

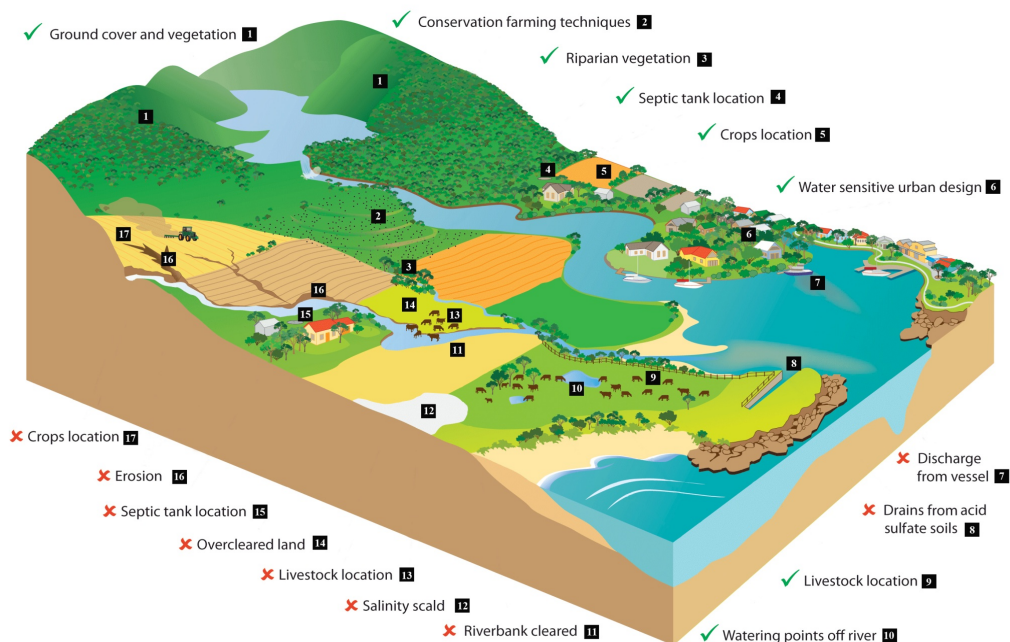


Figura 1 – Possibili fonti d'inquinamento diffuso delle acque da: "Department of Environment and Climate Change - New South Wales Government (Australia) modificato".

Secondo alcune statistiche, che possiamo ritenere soltanto indicative, solo il 12 per cento dell'inquinamento marino è imputabile ai trasporti marittimi, mentre il 44 per cento delle sostanze inquinanti arriva dalla terraferma e il 33 per cento dall'atmosfera. Uno tra gli esempi più eclatanti è il "Pacific Trash Vortex", un'isola di spazzatura, soprattutto plastica, formata nell'Oceano Pacifico a partire dagli anni cinquanta, con un diametro di circa 2500 km, pari ad una superficie di 4.909.000 Km<sup>2</sup>, una profondità di 30 metri ed un peso di 3.500.000 tonnellate, grazie all'azione della North Pacific Subtropical Gyre, una corrente oceanica dotata di un particolare movimento a spirale orario che permette ai rifiuti galleggianti di aggregarsi fra di loro. La plastica invece di essere fotodegradata si disintegra in pezzi sempre più piccoli che mantengono la caratteristica polimerica anche quando raggiungono le dimensioni di una molecola. Il galleggiamento di tali particelle, che apparentemente assomiglia a zooplankton, inganna i molluschi che se ne cibano causandone l'introduzione nella catena alimentare. Anche se quasi sempre attribuibili al fattore umano (Baker & Seah, 2004) la causa dell'inquinamento marino senza dubbio più visibile e familiare resta comunque quella dell'oil spill. Questo tipo d'inquinamento non produce solo disastri ambientali nell'imminenza dello sversamento ma la sua azione si protrae nel tempo. A distanza di 15 anni dall'incidente alla Exxon Valdez, avvenuto in Alaska nel 1989, è ancora possibile rilevare in quella zona tracce di petrolio. E anche nei fondali del Mar Ligure è possibile rinvenire il petrolio della Haven, affondata nel 1991. La Prestige, che naufragò al largo delle coste spagnole nel 2002,

ha causato perdite economiche ingenti, danneggiando gravemente la pesca locale. Tra i peggiori disastri ambientali ai quali abbiamo assistito ultimamente è impossibile non ricordare la marea nera nel Golfo del Messico oppure la disastrosa situazione in cui versa il delta del Niger. L'inquinamento del mare causato dal petrolio occupa certamente una posizione di grande rilievo perché oltre all'evidente danno alla salute delle specie marine e volatili, questo tipo di inquinamento favorisce l'accumulo di una sostanza cancerogena, come gli idrocarburi aromatici policiclici (IPA), assimilabile da ogni specie. L'inquinamento causato da petrolio greggio o più generalmente dagli idrocarburi che lo compongono è un fenomeno che può interessare l'aria, il suolo e con maggior frequenza e gravità il mare. Ovviamente l'inquinamento può essere occasionale/accidentale se si verifica in conseguenza di un evento che libera in maniera improvvisa ed incontrollata nell'ambiente una considerevole quantità di greggio o dei suoi derivati. Può anche essere sistematico come nella cattiva gestione e/o progettazione di impianti industriali come oleodotti, impianti di trivellazione e raffinerie. Può infine essere (come avviene in un numero incredibilmente elevato di casi) doloso. Spesso lo sversamento delle bilge water avviene in mare per evitare costosi smaltimenti del rifiuto.

Gli incidenti che provocano fuoriuscita di grandi quantità di idrocarburi sono per lo più quelli che interessano le superpetroliere che continuamente solcano i mari trasportando il greggio in giro per il globo. L'elevato traffico marittimo in generale e l'elevato traffico di idrocarburi in particolare costituisce nel Mediterraneo (Bilardo & Mureddu, 2005) il più grave pericolo per la sopravvivenza di questo mare, che non a caso è quello che presenta la più alta densità di idrocarburi a livello mondiale.

### **La ricerca, i temi e gli strumenti**

La ricerca condotta nell'ambito di un dottorato di ricerca nel settore delle Scienze della Terra prende avvio dalla vasta quantità di informazioni raccolte in questo particolare settore della difesa ambientale ottenute collaborando al Programma Comunitario INTERREG III A denominato Iniziativa D.A.M.A.C. (Difesa Ambientale del Mare Adriatico e Comunicazioni) che consisteva nell'organizzare un significativo partenariato tra la Regione Marche (Italia) e la Contea di Zara (Croazia) per avviare concreti interventi utili ad innescare un processo di sviluppo sostenibile tra le due aree balcanica e mediterranea. La cooperazione internazionale per contrastare questo tipo di inquinamento è sicuramente un'arma vincente infatti con lo scopo di eliminare l'inquinamento intenzionale e di ridurre al minimo quello accidentale, si tennero nel 1954, 1973 e 1978, tre conferenze internazionali che produssero "Convenzioni" che costituiscono il fondamento del diritto internazionale. La prima normativa si prefisse lo scopo di limitare l'inquinamento marino dovuto alle navi, ed è comunemente nota come OILPOL 54. L'altra, nota come MARPOL 73/78, in realtà è la somma di due distinti documenti. Il primo costituisce una evoluzione rivista e aggiornata della OILPOL 54, il secondo, stabilisce la normativa relativa alla sicurezza delle navi e ulteriori norme per la prevenzione dell'inquinamento marino.

Il mare Mediterraneo, risultando un'area particolarmente sensibile in termini di inquinamento cronico dovuto alle sue specificità geografiche, oceanografiche ed ecologiche, è stato dichiarato dalla Convenzione MARPOL 73/78 "Area Speciale", dove sono proibiti gli scarichi intenzionali di olii e rifiuti. Nell'ambito delle attività ispettive prescritte dalla suddetta Convenzione, con particolare riferimento al perseguimento dei trasgressori, una delle principali difficoltà è la mancanza di sorveglianza e controllo delle acque internazionali. Il Regional Marine Pollution Emergency Response Centre for the Mediterranean (REMPEC) con sede a Malta assiste gli Stati rivieraschi del Mediterraneo per ratificare, recepire, attuare e far rispettare convenzioni marittime internazionali relative alla prevenzione, la preparazione e la risposta all'inquinamento marino provocato dalle navi, ma proprio dai report pubblicati da questa associazione si capisce che siamo molto lontani dal raggiungere questo obiettivo. Inoltre per arrivare ad una condanna in sede giudiziaria ci vogliono prove e gli aspetti tecnici su come riuscire a procurarsele per dimostrare la responsabilità di una certa nave e del suo comandante non sono di facile soluzione. Allo stato

attuale se non vengono intensificati alcuni aspetti come il telerilevamento, il controllo e la registrazione tramite GIS dei dati AIS, il campionamento in Near Real Time degli inquinanti sversati, la raccolta di prove e quindi il perseguimento dei trasgressori rimane piuttosto difficile se non aleatorio. Se per i fenomeni di inquinamento marino derivanti da cause originate a terra, in Italia si fa uno specifico riferimento alla legge Merli e alle sue successive modificazioni e integrazioni per quanto riguarda la materia degli inquinamenti causati da incidenti marini, siano questi accidentali (stimati nella misura del 20% del totale) che intenzionali (80%), si analizzano qui di seguito le problematiche da tenere in considerazione e le misure di risposta da adottare o già intraprese. Tramite il GIS è possibile analizzare le direttrici di traffico marittimo lungo tutto il perimetro costiero nazionale, nonché nei bacini limitrofi: a tale riguardo, devono essere individuate le zone potenzialmente a rischio di incidenti, di natura sia accidentale (collisioni e incagliamenti) che intenzionale (immissioni, bilge e ballast water, rifiuti ecc.), ciò al fine di realizzare adeguate misure di risposta attraverso idonee risorse (uomini, mezzi e materiali) opportunamente dislocate. Il Mediterraneo, ed in particolare l'Italia stanno assumendo un ruolo sempre più centrale. Posizionati direttamente sulle grandi rotte intercontinentali, i porti italiani rappresentano le vie di accesso per i mercati del Sud e del Centro Europa. L'insieme dei porti italiani, negli ultimi anni, ha fatto registrare una crescita molto accentuata nella movimentazione di merci containerizzati. Proprio per la grande mole di traffico e per le sue caratteristiche geomorfologiche di mare chiuso all'interno di un mare chiuso si è deciso di cominciare ad analizzare il Mar Adriatico con l'intento di monitorare alcuni dei porti principali della costa adriatica: Ravenna, Falconara, Ancona, Pescara e Barletta.

Analogamente, si deve provvedere alla regolamentazione del traffico marittimo attraverso adeguati sistemi di controllo che, pur mirati all'antiquinamento, devono anche concorrere alla sicurezza della navigazione. A questo proposito il Sistema Informativo Territoriale che è stato sviluppato in questi anni di ricerca si pone come strumento di avanguardia che riesce a far interagire tra loro, le diverse strutture e all'occorrenza utilizzando i modelli spaziali si può anche rivelare un utile strumento per il pronto intervento in caso di oil spill. Le ricerche condotte, mettono altresì in evidenza, che per combattere l'inquinamento marino non ci si può basare comunque soltanto su una azione di repressione dei comportamenti illeciti. Migliorare il regime coercitivo è necessario ma è un dovere anche facilitare la disponibilità e l'utilizzo degli impianti di raccolta a terra (reception facilities) che devono risultare adeguati sia in termini di rispondenza che di consistenza e di razionale dislocazione. Incentivando il conferimento dei rifiuti (liquidi e solidi) nei porti si tende naturalmente a contenere lo scarico in mare dei rifiuti specie se si riesce a mantenere al giusto livello le spese per il loro conferimento.

### **Il conferimento dei rifiuti nei porti.**

E proprio da questo punto che parte la raccolta dati nei porti Ravenna, Falconara, Ancona, Pescara e Barletta attraverso le informazioni fornite dalle Capitanerie di Porto riguardante gli arrivi e le partenze di tutte le navi ed i relativi moduli di notifica dei rifiuti prodotti. La scelta su questi cinque porti è caduta dopo una attenta analisi del flusso del traffico marittimo prendendo come caposaldo il porto di Falconara. A Falconara è ubicata una importante raffineria ed il porto costituisce il punto di arrivo del petrolio greggio, ma allo stesso tempo rappresenta il punto di partenza dei prodotti raffinati (diesel, benzine e bunker) la cui destinazione principale è rappresentata appunto dai porti di Barletta, Ravenna e Pescara. Questa schematizzazione del traffico marittimo ha rappresentato il modello su cui si è basata l'indagine scissa in due separate fasi. Una sugli arrivi del greggio che proviene sempre dal fuori del mare Adriatico e quindi uno studio sul conferimento dei rifiuti a carattere internazionale. L'altra sulla distribuzione dei prodotti raffinati che avviene lungo la costa adriatica e quindi in un contesto di cabotaggio a carattere nazionale. La gestione dei dati è avvenuta attraverso l'utilizzo di un GIS con sistema di riferimento WGS84 e su un geodatabase costituito dalla Digital Chart of the World (DCW) alla scala nominale di 1:1.000.000.

Le informazioni riportate in ogni scheda esaminata sono state poi inserite in un database che consente una facile interrogazione dei dati. Seguendo, poi, un approccio sistematico si è riusciti a

valutare la quantità e la qualità dei dati raccolti, nel periodo di monitoraggio dal gennaio al giugno 2008, e ad evidenziare i non pochi problemi riscontrati. Molte schede esaminate risultavano incomplete o contenevano errori, ad esempio, non era riportato il call sign e/o il numero IMO della nave che consente al di là del nome, che può essere modificato, l'identificazione della stessa; altrettanto avviene per la bandiera di appartenenza; molto spesso nella scheda non viene riportata la data e l'ora di arrivo e/o di partenza della nave; non sempre è riportato il porto di provenienza e/o di arrivo della nave; non sempre è riportato il porto in cui sono stati conferiti i rifiuti precedentemente e/o quasi mai la data di conferimento. Come si può ben notare, nei punti evidenziati, non si affronta la parte riguardante i dati inerenti i rifiuti conferiti perché praticamente inesistenti, purtroppo, anche volendo fare una stima approssimata, si evince che attraverso questo strumento è praticamente impossibile arrivare ad avere dei dati attendibili e rigorosi. Per questo motivo dopo alcuni mesi di lavoro si è deciso di interrompere il monitoraggio.

### I modelli previsionali per l'oil spill

Un altro aspetto affrontato in questo vasto studio è stato l'utilizzo del GIS per la valutazione degli oil spill attraverso l'utilizzo di modelli previsionali. La modellazione spaziale, come brevemente anticipato è una applicazione GIS che consiste nell'impiego di modelli di analisi numerica allo scopo di determinare dei valori di interesse e la loro distribuzione nello spazio e nel tempo. Questo è un campo molto innovativo ed in continuo aggiornamento. Una di queste applicazioni è stata sperimentata (Corso, 2008; Corso et al., 2008; Corso & Capancioni, 2008, Capancioni et al., 2008) durante il Progetto INTERREG IIIA DAMAC. Per la simulazione si è utilizzato il modello MEDSLIK-II. Questo modello è basato sul preesistente MEDSLIK (Lardner et al, 2006) ed è stato sviluppato per prevedere il trasporto e le trasformazioni chimico-fisiche del petrolio in mare.

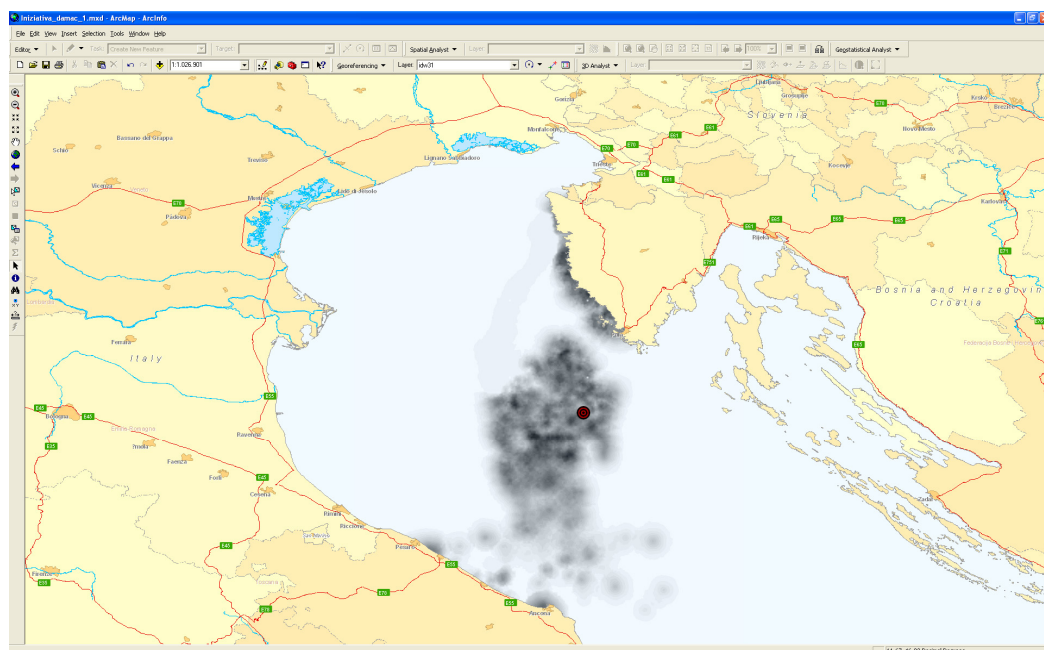


Figura 2 – Simulazione di uno sversamento di 1920 tonnellate di greggio, nella posizione 44°50000 e 13°66700 e risultati ottenuti con modello MEDSLIK-II dopo 450 ore dall'oil spill.

Dal momento che il trasporto della macchia d'olio è governato dalle correnti marine superficiali e dal forzante ventoso, il modello utilizza i campi di velocità delle correnti marine fornite dal Mediterranean Forecasting System (MFS) o da altri modelli idrodinamici con più alta risoluzione spaziale e i campi di vento prodotti dall'ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts). MEDSLIK-II simula, inoltre, la dispersione del petrolio dovuta alla componente turbolenta del moto ed è in grado di riprodurre lo spostamento causato dal moto ondoso (Stokes drift). I processi di trasformazione chimico-fisica inclusi nel modello sono l'evaporazione, la dispersione, l'emulsificazione, l'espansione e l'assorbimento sulla costa. I risultati sono stati forniti dal modello per una simulazione relativa ad un oil spill nell'alto Adriatico, con uno sversamento di 1920 tonnellate di greggio, nella posizione 44°50000 e 13°66700 (coordinate nel sistema WGS84 - gradi decimali) nel mese di giugno. La simulazione è stata protratta per 450 ore ed i risultati sono stati successivamente integrati nel GIS. Delle 1920 tonnellate di greggio inizialmente sversate, dopo 450 ore, il modello stima che il 39,78 % sia evaporato, il 19,39 sia disperso, mentre il 28,44 si sia spiaggiato coinvolgendo contemporaneamente la costa della Regione Marche e quella dell'Istria, con un danno economico enorme soprattutto dovuto alla perdita della risorsa turistica legata al mare.

Il modello e la sua applicazione tramite GIS consente non solo di elaborare visualizzazioni generali a scala del bacino adriatico ma si possono fare analisi a scala locale. Questa simulazione in estrema sintesi dimostra che uno sversamento contenuto, ovvero 35 volte più piccolo di quello della Prestige, in 450 ore pari a poco più di 19 giorni, danneggerebbe in modo grave sia le coste dell'Istria che quelle della Regione Marche ed interesserebbe gran parte dell'Adriatico settentrionale.

La modesta quantità di olio sversato è stata rilasciata lungo la principale rotta adriatica e può provenire da una accidentale fuoriuscita di una grande oil tanker, ma è anche compatibile con le quantità di olio contenute nelle cisterne di una Ro-Ro oppure da una Container ship di grande tonnellaggio e che viene utilizzato come combustibile per la navigazione. Durante lo svolgimento del Progetto DAMAC sono state effettuate altre simulazioni utilizzando modelli previsionali diversi, tra cui anche GNOME (General NOAA Operational Modeling Environment) che analogamente agli altri, fornisce una stima della traiettoria e della evoluzione della macchia. Questo modello è stato testato in modo molto approfondito durante la marea nera che si è verificata nel Golfo del Messico in seguito all'incendio della piattaforma Deepwater Horizon. Il NOAA's Office Response and Restoration utilizzando il GIS ha elaborato mappe di previsione della traiettoria dell'oil spill ogni giorno per 107 giorni, raggruppate per "Trajectories by Type" e "Trajectories by Date". Secondo quanto comunicato dal NOAA le traiettorie dell'olio sono state calcolate sulla base del rilevamento delle correnti e dai venti, utilizzando i dati direttamente rilevati dalla struttura ma anche utilizzando dati provenienti da altre fonti. Sono anche state utilizzate immagini satellitari sia nel campo del visibile che quelle radar integrandole con quelle ottenute tramite i sorvoli in elicottero per tutta l'area potenzialmente interessata dall'oil spill.

Nel Mediterraneo la probabilità di incidenti è altissima, basta considerare che ci sono ben 82 porti petroliferi con altrettante raffinerie, che lavorano quasi 9 milioni di barili di greggio al giorno, oltre il 10% della raffinazione mondiale. L'elevato traffico di petroliere nel Mediterraneo costituisce naturalmente un grave pericolo per la sopravvivenza di questo mare. I dati forniti dal Programma per l'Ambiente delle Nazioni Unite nel progetto MAP (Mediterranean Action Plan) stimano in ben 100-150 mila tonnellate la quantità di idrocarburi che finiscono annualmente nel Mediterraneo. Quantità impressionanti che sono purtroppo confermate dalla densità di catrame pelagico riscontrata nelle acque del Mediterraneo, con una media di 38 milligrammi per metro cubo, la più alta del mondo. Nel mare del Giappone la quantità riscontrata si ferma ai 3,8 milligrammi, a 2,2 nella Corrente del Golfo ed a 0,8 nel Golfo del Messico (naturalmente prima dell'incidente della piattaforma BP): un confronto impietoso che dimostra il rischio che il Mediterraneo vive e della necessità di monitorare e pulire le sue acque.



### **EMSA: l'agenzia europea**

Proprio in seguito ai dati raccolti, la ricerca evidenziava che per poter comprendere, codificare ed analizzare i dati necessari allo sviluppo del GIS sia a livello regionale che a scala europea necessitava una fonte d'informazioni più completa ed esauriente. Un training presso l'EMSA nella sua sede di Lisbona ha consentito di approfondire alcuni dei temi già affrontati e la conoscenza di nuove ed importanti problematiche che l'agenzia tratta giornalmente. L'EMSA provvede alla corretta applicazione della legislazione europea e promuove la collaborazione tra gli Stati Membri. Dalla sua creazione ha contribuito alla valutazione delle società di classificazione riconosciute dalla Commissione Europea e dei centri di formazione marittima nei paesi terzi, nonché a verificare l'effettiva esecuzione dei controlli da parte delle autorità portuali. Inoltre, ha contribuito a migliorare lo scambio di informazioni tra gli Stati Europei ed ha avuto l'incarico aggiuntivo di prestare manforte agli Stati Membri in caso di oil spill di vasta portata, infatti a tal fine dispone di navi che possono intervenire in qualsiasi parte dell'Europa su richiesta di paesi a rischio d'inquinamento. Considerato l'elevato numero di navi che effettuano operazioni di carico e scarico nei porti europei, le informazioni sui carichi, sulle condizioni di sicurezza della nave e sui porti di destinazione rivestono un interesse fondamentale per la sicurezza in mare, per la protezione dell'ambiente marino e per gli aspetti economici. Tali informazioni, tuttavia, sono gestite da una miriade di autorità a livello locale e nazionale e molto spesso lo scambio delle informazioni è difficile e frammentario, proprio perché utilizzano metodologie differenti per raccogliere, archiviare e trasferire dati oltre a sistemi informatici incompatibili tra loro. Inoltre, le informazioni sono trasmesse in modo diverso, spesso per fax, telefono o posta elettronica. Per questa ragione dal 2002 gli Stati Membri e la Commissione Europea collaborano per dare attuazione alla direttiva comunitaria 2002/59/CE, relativa all'istituzione di un sistema comunitario di monitoraggio e d'informazione del traffico marittimo. L'Agenzia è l'unica fonte attraverso la quale la Commissione Europea e gli Stati Membri possono acquisire immagini, dati e altre informazioni a supporto dei loro interventi contro l'inquinamento marino a livello europeo.

All'interno del training si è continuato a sviluppare il GIS finalizzandolo alla creazione di mappe graduate per ogni paese europeo, sul numero di ispezioni effettuate nei controlli dello Stato di Approdo (Port State Control – PSC). Gli Stati di approdo dell'Unione Europea hanno il compito di ispezionare le navi straniere che attraccano nei loro porti (controllo dello Stato di approdo), un processo di controllo particolarmente importante per la sicurezza marittima perché, sebbene la responsabilità principale del buono stato delle navi ricada sugli Stati di bandiera, questi non sono sempre in grado di svolgere il loro compito in modo coerente. Gli Stati di approdo hanno la facoltà di imporre le rettifiche necessarie all'eliminazione delle lacune individuate, e possono fermare le navi finché tali riparazioni non siano state eseguite. Qualora una nave dovesse essere fermata ripetutamente in un determinato arco di tempo, l'accesso a tutti i porti UE potrebbe esserle negato finché l'armatore della nave in questione non abbia dimostrato che essa è in condizioni idonee alla navigazione. La ricerca per il dottorato, presso l'agenzia, è iniziata con la creazione di un database riportante tutte le informazioni inerenti i PSC per tutti i 27 Membri Europei con l'aggiunta della lista dei codici UN/LOCODE (sistema di codifica geografica sul commercio e sui trasporti locali sviluppato e mantenuto dalla Commissione economica delle Nazioni Unite per l'Europa - UNECE) e le relative coordinate dei porti ottenute sempre dalla stessa fonte. All'interno del GIS si è passato poi al collegamento, all'armonizzazione (estensione geografica e sistema di coordinate) e all'integrazione di tutti questi dati rispettivamente in un geodatabase al fine di creare mappe graduate sul numero di ispezioni effettuate in ogni porto. Il fine di questo lavoro era quello di creare un possibile supporto da parte dell'EMSA per il nuovo regime di controllo del Port State Control che è previsto nella direttiva 2009/16/CE denominato THETIS, sistema che verrà utilizzato dalla Comunità Europea per la regione del Memorandum d'intesa di Parigi sul PSC (MOU di Parigi), che comprende Canada, Croazia, Islanda, Norvegia e la Federazione russa. Contemporaneamente allo sviluppo di questo lavoro, sulla base di una specifica richiesta da parte dell'Eurostat attraverso il Dipartimento competente per il Sistema Geografico Informativo



(GISCO), l'EMSA fu chiamata a collaborare alla elaborazione di informazioni marittime geografiche finalizzate a stabilire distanze di viaggio affidabili tra i porti. L'Eurostat si prefiggeva di generare un dataset informatico completo sulle rotte marittime. Questo set di dati (Corso S. 2009) farà parte di un modello di trasporto multimodale ed servirà anche per l'elaborazione di un network (solo nodi, archi e distanze) che sarà l'input per il calcolo delle distanze tra una coppia di porti utilizzando un grafico standard di algoritmi. Per raggiungere questo obiettivo si decide di utilizzare i dati sulla posizioni AIS delle navi che effettuavano viaggi più frequenti (dal porto di partenza al porto di destinazione), basati su una selezione di porti che gestiscono tonnellaggi di merci all'anno superiori a 10 milioni di tonnellate o per un imbarco/sbarco per più di 100.000 passeggeri, il tutto calcolato, come già detto, per almeno un anno tra il 1997 ed il 2008. Alla fine questa selezione è arrivata a contenere 494 porti. L'interesse di questa collaborazione era nell'uso di tre unici dataset contenuti nel database MarInfo di appartenenza dell'EMSA. Il primo set di dati, chiamato Lot C - Moves, contiene le notifiche da porto a porto ma mancano le posizioni AIS durante il viaggio delle navi. Il secondo, Lot C - AIS, contiene le posizioni AIS registrate ad un intervallo di 4 ore, ma questa informazione non può essere assegnata ad uno viaggio particolare perché il porto di origine non è noto. Come risultato, le rotte marittime possono essere determinate solo se i record delle posizioni AIS sono arricchiti con i dati del primo dataset. L'ultimo set di dati contiene informazioni su particolari navi, Lot B - Vessels, utilizzato per recuperare soltanto quelle navi soggette a regolari modelli come navi passeggeri o containers.

Per la creazione delle mappe sulle rotte marittime, inizialmente, sono stati importati, all'interno del GIS, tutti i porti di appartenenza dell'Eurostat e dell'EMSA, perché tra le due agenzie c'è un diverso elenco dei porti. Infatti, l'Eurostat aggrega i porti con UNlocodes diversi. Ad esempio Marsiglia che per l'Eurostat è un porto, per l'EMSA sono tre, Marsiglia (la maggior parte del traffico sono traghetti), Port de Bouc (merci pericolose) e Fos (petroliere). Questo spiega il fatto che quando una nave scarica ha bisogno di una speciale area in funzione del suo carico, in particolare per le merci pericolose (sostanze nocive pericolose-HNS). Più spesso le aree portuali non si trovano al centro della città ma al di fuori, come a Marsiglia e, quindi, di conseguenza presenterà tre UNlocodes differenti. Il secondo passaggio è stato quello di inserire le TSS, linee di separazione del traffico, per garantire che le navi selezionate procedessero nella corsia di traffico adeguato e soprattutto che le coordinate AIS estratte dal MarInfo fossero corrette. Purtroppo però non stato così semplice determinare il percorso (origine/destinazione) di una nave da una singola fonte (database MarInfo). Ad esempio, dopo aver scelto quale nave utilizzare per la creazione di una rotta, è stato necessario controllare il suo movimento all'interno del sito web Lloyd's MIU per capire se la rotta di questa nave fosse frequente e soprattutto interessante ai fini di questo studio. Inoltre, è stato indispensabile utilizzare anche il Lloyd's MIU-Google Earth per verificare l'esatto porto di origine e destinazione delle navi, perché, ad esempio, un grande porto come Rotterdam può utilizzare UNlocodes diversi per piccole aree o terminali, come Hook of Holland che è un piccolo porto di appartenenza a Rotterdam, ma questo tipo di informazioni non sono presenti nel database MarInfo in cui le due posizioni sono trattate con uguali codici. Infatti, ad esempio, il porto di destinazione, nel set dei dati dell'AIS, indicava il porto principale (Rotterdam) invece della reale destinazione geografica (Hook of Holland).

Per risolvere questo problema è stato fatto un primo tentativo creando una tabella di riferimento con il raggruppamento dei "subporti" dai principali porti. Altra difficoltà è dovuta al periodo di tempo considerato, che è stato limitato per rendere le dimensioni delle informazioni gestibili durante la loro esportazione da Oracle ad Access. Per questo motivo le prime tabelle importate nel GIS sono state create da un minimo di una settimana a un massimo di un mese e le posizioni AIS sono state estratte con un criterio di filtraggio derivato dal tipo di nave: navi container, general cargo, petroliere e navi passeggeri. Alla fine sono stati estratti 5,3 milioni di posizioni AIS contro i 74 milioni immagazzinati nel "Lot C - AIS" in MarInfo. In parallelo sono stati estratti dal "Lot C - Moves" gli scali di queste navi, sempre per lo stesso periodo di tempo.

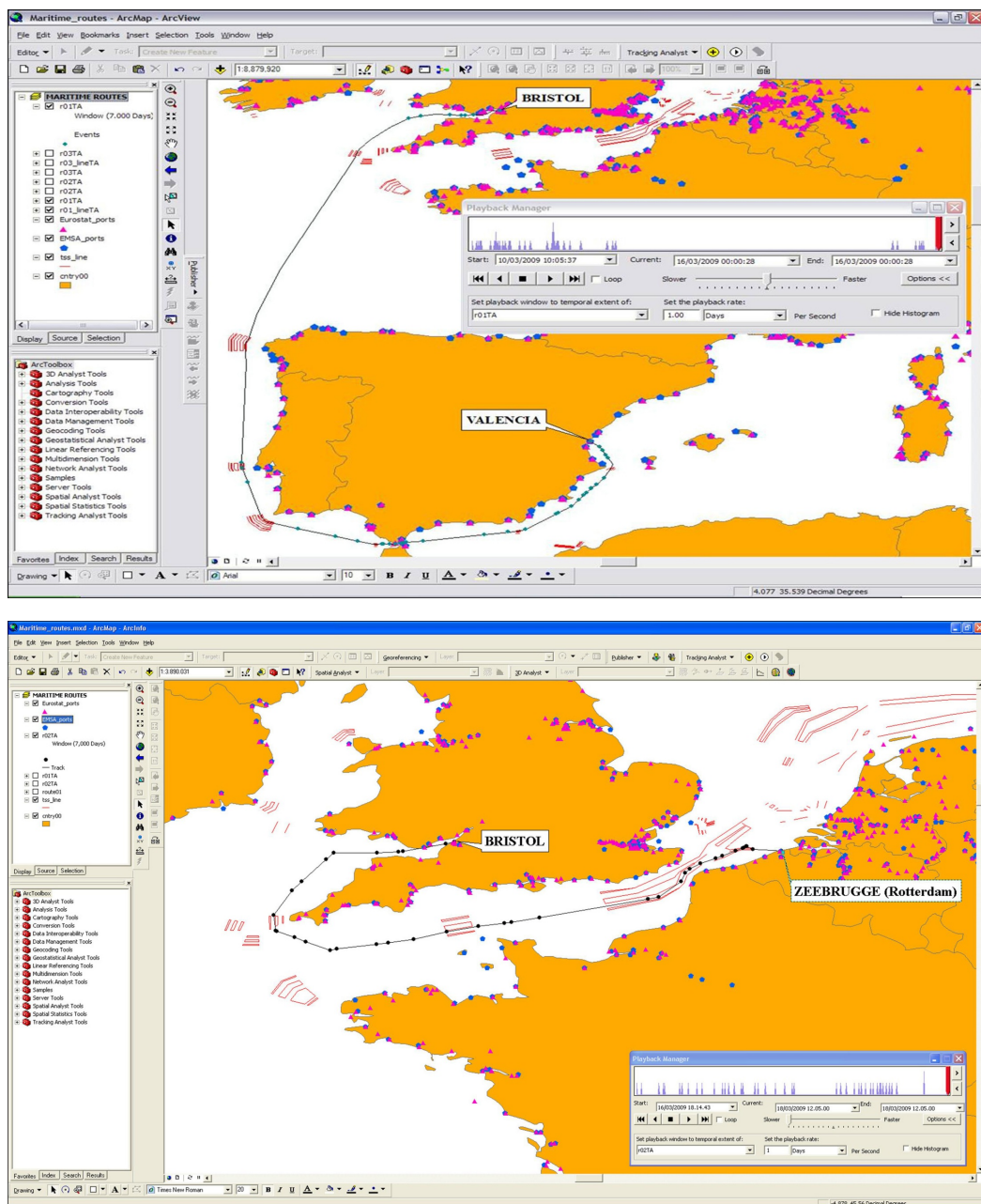


Figura 3 – Calcolo tramite il Tracking Analyst tool delle reali rotte delle navi sulla base dei dati forniti dall'Automatic Identification System (AIS).

E come ultima difficoltà, si è dovuto convertire le coordinate delle posizioni AIS, estratte dal database MarInfo, da “gradi, minuti e secondi” a “gradi decimali”, proprio come il sistema di

riferimento del GIS necessitava. Per far ciò è stato necessario effettuare alcuni calcoli all'interno di Access per creare una formula che automatizzasse la conversione.

L'importanza dell'utilizzo dell'AIS è soprattutto la sua capacità di individuare obiettivi dotati di questo stesso sistema per esempio in situazioni dove la rilevazione è limitata, come in condizioni di visibilità limitata dalla nebbia, pioggia, etc. La cattiva esecuzione e la trasmissione errata di informazioni AIS sono problemi di rilevanza vitale nelle operazioni di anti-collisione. Tramite i dati trasmessi dall'AIS è stato possibile, utilizzando un valido ed indispensabile strumento quale il GIS, ricostruire le "reali" rotte marittime.

All'interno del software vari tools sono risultati di valido aiuto per la creazione delle mappe ma uno in particolare, collegato in maniera automatica con le varie tabelle esportate da Access, ha definito le rotte marittime, il Tracking Analyst tool. Le tabelle create in Access includono un campo denominato EVENTID che contiene l'informazione della rotta che una nave percorre. L'informazione sulla posizione della nave si trova nei campi LONG e LATIT, mentre, il tempo, riferito alla posizione AIS segnalata dalla nave, è riportato nei campi FROMDATA e FROMTIME oppure indifferentemente nei campi TODATA e TOTIME. Ovviamente per il sistema, il formato data deve essere: gg/MM/yyyy, mentre quello tempo: HH:mm:ss. Questo strumento alquanto utile potrebbe risultare fondamentale nell'individuazione di scorrettezze sulla velocità delle navi, oppure nell'individuare possibili collisioni sempre attraverso gli attributi del tempo e della velocità o, addirittura, nel controllare se una nave rispetta l'obbligo di attraversamento delle TSS lines.

### **Alcune considerazioni finali**

Come dimostra ampiamente questa ricerca, molto spesso, specialmente quando si affrontano problemi ambientali di area vasta e problematiche complesse quali approfondire le cause e predisporre gli strumenti per contrastare l'inquinamento marino, si può arrivare piuttosto lontano rispetto ai traguardi iniziali prefissi. Questa ricerca, infatti, cominciata per approfondire le modalità di conferimento dei rifiuti prodotti dalle navi durante la navigazione nei porti di approdo è finita per indagare a livello europeo le rotte ed i tempi di percorrenza tra i porti. Ma un punto sicuramente confermato è stato che lo sviluppo di un GIS, finalizzato al trasporto marittimo nell'epoca della globalizzazione, porta al superamento delle tradizionali barriere e costituisce una formidabile opportunità per la difesa ambientale. Questo strumento che ormai trova un ampio e consapevole utilizzo a tutti i livelli può essere ulteriormente implementato per consentire alla nave in transito di decidere dove, come, in quanto tempo e con che costi conferire i rifiuti prodotti a bordo durante la navigazione. Allo stesso tempo faciliterebbe l'impresa portuale che potrebbe in anticipo predisporre il servizio senza necessità di fermare la nave in porto per troppo tempo con conseguente aumento dei costi di esercizio. Ma questa prassi, non ancora virtuosa, dovrebbe eliminare tutta quella burocrazia legata a moduli cartacei per arrivare allo sviluppo di un database elettronico che permetta di monitorare automaticamente il conferimento dei rifiuti e gli spostamenti della nave e soprattutto basarsi sulla fattiva collaborazione delle compagnie di navigazione che se vogliono essere percepite genuinamente responsabili devono fare proprie le conseguenze del loro impatto nella sfera non solo economica, ma anche ambientale e sociale. Infatti, se l'inquinamento marino dovesse continuare ad aumentare in maniera repentina, potrebbe originare una normativa molto restrittiva sotto la spinta di shock e eventi che continuano a scuotere l'opinione pubblica. Per evitare questo "overshooting" regolatorio, le compagnie di navigazione dovrebbero essere indotte ad autoregolarsi, sacrificando razionalmente profitti di breve periodo a favore del rispetto e degli interessi delle popolazioni e dell'ambiente.

Anche se finora si tratta di casi più unici che rari esistono imprese che cercano di raccogliere questa sfida è questo il caso di una società di navigazione, la Wallenius Wilhelmsen Logistics (WWL) che invece sembra voler fare del rispetto ambientale un suo punto di forza imprescindibile e contemporaneamente stare sul mercato come tutte le altre compagnie anche meno rispettose delle fragilità dei nostri mari od oceani che siano. Stando a quello che è possibile leggere sulla home page del loro sito la WWL offre innovative e sostenibili soluzioni al trasporto marittimo con i

suoi 3.300 dipendenti in tutto il mondo, gestisce i trasporti di circa 60 navi moderne a basso impatto ecologico. L'azienda è anche leader nel mercato dello sviluppo di soluzioni innovative per ridurre i gli impatti operativi in materia di ambiente legati o connessi al trasporto marittimo. Cosa estremamente rilevante è che la compagnia dichiara anticipatamente quali siano gli obiettivi che intende raggiungere e alla fine di ogni anno pubblica un report per misurare quantitativamente il successo delle strategie messe in atto. Come ho scritto, la valutazione dell'impatto è determinante anche per i trasporti marittimi soprattutto perché questa forma di movimentazione delle merci è pur sempre eco-conveniente. Questo aspetto riguarda anche le emissioni nell'atmosfera che non sono state prese in considerazione in questa nota, senza sottovalutare troppo lo smaltimento dei rifiuti, la contaminazione del suolo, l'uso delle materie prime e delle risorse e le giuste istanze ambientali delle comunità locali, soprattutto quelle delle aree costiere e delle città portuali.

### **Bibliografia**

- Baker C.C. & Seah A.K. (2004) "Maritime Accidents and Human Performance: The Statistical Trial. Presented at MARTECH 2004, Singapore, September 22-24, 2004.
- Bilardo U., Mureddu G. (2005) Traffico petrolifero e sostenibilità ambientale, Roma, UP.
- Corso S. (2009) Final Report Setting up of a maritime routes geographic information dataset based on ex tracts from EMSA Marinfo database.
- Corso S. (2008) Geodatabase: la batimetria del mare Adriatico. Report finale del Progetto INTERREG IIIA Secure Sea. L.Polonara and N. Kosulic editors. Regione Marche, 2008.
- Corso S., Mikulicic D., Moretti E., Savini C. (2008) Il Geographyc Information System di DAMAC Report finale del Progetto INTERREG IIIA Secure Sea. L.Polonara and N. Kosulic Editors. Regione Marche, 2008.
- Corso S., Capancioni R. (2008) I fondali del Mare Adriatico – atti della 11<sup>a</sup> Conferenza degli utenti Esri– Roma.
- Capancioni R., Corso S., Moretti E., Savini C. (2008) Oil Spill: difendere l'Adriatico utilizzando il GIS – atti della 11<sup>a</sup> Conferenza degli utenti Esri - Roma.
- Det Norske Veritas (2006) Preventive Maintenance & Port State Control Masters Check List July.
- EIA (2007), World Apparent Consumption of Refined Petroleum Products, 2004 (available at: [www.eia.doe.gov/pub/international/iea2005/table35.xls](http://www.eia.doe.gov/pub/international/iea2005/table35.xls); World Petroleum Supply and Disp. 2000.
- Eide et al. (2008), EU project QUANTIFY delivery: Ship emissions of the future, Report No 2007-1325, Det Norske Veritas AS, Høvik, Norway.
- Environmental Protection Agency (EPA) (2003), National Air Quality and Emissions Trends Report, 2003 Special Studies Edition (available at [www.epa.gov/air/airtrends/aqtrnd03](http://www.epa.gov/air/airtrends/aqtrnd03)).
- European Commission Joint Research Centre Institute for the Protection and the Security of the Citizen Maritime Affairs Unit(2008) Report on the benefits of non-environmental ancillary probability maps and on data product types, data sources, formats and statistical relevance.
- European Maritime Safety Agency (2009) Annual Report.

## **Dal Data Base Topografico ai territori impermeabilizzati della Regione Emilia-Romagna.**

Stefano Corticelli (\*), Maria Luisa Garberi (\*), Sara Masi (\*), Maria Cristina Mariani (\*),  
Michele Bocci (\*\*), Simone Gadenz (\*\*)

(\*) Servizio Sviluppo dell'Amministrazione digitale e sistemi informativi geografici  
Regione Emilia-Romagna, Viale Silvani 4/3, 40122 Bologna, Tel. 051 284602, scorticelli@regione.emilia-romagna.it  
(\*\*) Geographike S.R.L., Via Sansedoni 7, 53100 Siena, Tel./Fax +39 0577 588408

### **Riassunto**

L'evoluzione del territorio, con la crescita delle aree urbanizzate ed il conseguente consumo di suolo sottratto agli usi agricoli ed agli ambienti naturali, rappresenta un tema sempre più oggetto di studi specifici. Tra questi la valutazione delle aree impermeabilizzate consente di individuare importanti indicatori impiegati nelle analisi della pianificazione territoriale.

Il Data Base Topografico Regionale (DBTR), recentemente aggiornato, costituisce un importante patrimonio informativo che è stato impiegato come fonte primaria per una valutazione del livello di impermeabilizzazione dei suoli nella Regione Emilia-Romagna.

Si è proceduto con la caratterizzazione delle varie categorie di oggetti territoriali del DBTR attribuendo il relativo grado di impermeabilizzazione. Per alcune tipologie, come le pertinenze di comprensori industriali o gli svincoli stradali, all'interno dei quali possono ricadere aree a diverso grado di permeabilità, sono state condotte delle misure a campione, delineando per fotointerpretazione le varie componenti presenti, distinte in funzione della natura della copertura del suolo. Sono state distinte le aree completamente impermeabili, quelle semipermeabili e quelle completamente permeabili, caratterizzando tali elementi con indici di impermeabilizzazione.

E' stata quindi implementata una procedura automatica che consente la gestione degli indici di permeabilità per le varie classi di oggetti territoriali e l'esecuzione del calcolo, consentendo l'esecuzione e la ripetibilità delle operazioni per comprensori geografici definiti o in momenti successivi, con nuove versioni del DBTR.

Per valutare l'accuratezza e caratterizzare il dato finale sono stati realizzati test su aree campione, producendo i consueti indicatori derivanti dalla matrice di confusione.

### **Abstract**

*Land development, with related urban expansion at expense of agricultural areas and natural environments represents a key role in many studies. Evaluation of soil-sealed areas leads to important indicators in landscape planning analyses.*

*The recently updated regional Topographic Data Base, as main information heritage, has been used to assess the soil-sealing level in Emilia-Romagna Region.*

*The workflow started attaching a soil-seal level to Topographic Data Base objects' categories. A sampling photointerpretation process has been worked out for many categories as industrial areas, freeway junctions etc. which contain areas with various permeability levels. Each object has been then joined to a permeability index class among totally sealed, partially sealed, or unsealed.*

*An automatic data process has been worked out in order to calculate final soil-sealing level on different areas and easy data processing for future database updates.*

*Sample areas have been tested to assess the workflow reliability.*

## **Premessa**

L'evoluzione delle principali dinamiche di cambiamento di copertura ed uso del suolo nell'ultimo decennio evidenzia una crescita delle aree urbanizzate, con la nascita di nuovi insediamenti abitativi, industriali e commerciali ai margini delle città, associata ad una progressiva diminuzione della superficie destinata ad aree agricole, spesso particolarmente fertili, e agli ambienti semi-naturali.

L'impatto diretto di questi cambiamenti a favore delle aree artificiali consiste prima di tutto nella distruzione o alterazione irreversibile di suoli, conseguente perlopiù all'urbanizzazione, alla realizzazione e potenziamento delle infrastrutture di trasporto, all'apertura di cave. Questi fenomeni vengono compresi nel termine generale di impermeabilizzazione dei suoli o *soil sealing*.

Con il termine *soil sealing* si indica la separazione che si instaura tra il suolo e gli altri compartimenti dell'ecosistema, come la biosfera, l'atmosfera, l'idrosfera, l'antroposfera e altre parti della pedosfera per effetto di strati di materiale parzialmente o totalmente impermeabile (EC, 2004).

Il maggiore impatto dell'impermeabilizzazione dei suoli si ha sul flusso delle acque. L'incapacità delle aree impermeabilizzate di assorbire per filtrazione una parte delle acque, aumenta notevolmente lo scorrimento superficiale e può favorire la contaminazione del suolo da parte di sostanze chimiche. Lo scorrimento superficiale aumenta così in volume e in velocità, causando evidenti problemi sul controllo delle acque superficiali, in particolare in occasione di fenomeni di pioggia particolarmente intensi, ed incidendo sulla capacità di ricarica delle falde acquifere.

Ulteriori impatti sono rappresentati dalla compromissione delle funzioni ecologiche del suolo, quali lo stoccaggio di carbonio e la funzione di habitat per il biota del suolo, l'aumento della frammentazione degli habitat e l'interruzione dei corridoi migratori per le specie selvatiche. Nel centro delle grandi città, inoltre, la maggiore concentrazione di aree edificate e le pavimentazioni stradali, unite alle caratteristiche termiche di alcuni materiali, quale il cemento, determinano un assorbimento del 10% in più di energia solare rispetto ad una corrispondente area coperta da vegetazione. Le città sono quindi delle vere e proprie isole di calore in cui si verificano anche fenomeni meteorologici atipici come la maggiore frequenza dei temporali (Barberis et al., 2006).

Con il presente lavoro si illustrano i criteri metodologici ed i primi risultati di una attività in corso che ha l'obiettivo di definire puntualmente il grado di impermeabilizzazione del suolo a livello regionale, impiegando come unica fonte primaria i dati del nuovo DBTR.

Il termine "Data Base Topografico" fa riferimento sostanzialmente ai "tradizionali" contenuti della Carta Tecnica a grande scala (1:1000, 1:2000, 1:5000) e costituisce la base di riferimento del Sistema Informativo Geografico regionale, fruibile direttamente per la produzione cartografica standard e per le attività gestionali della Pubblica Amministrazione.

Più in particolare il progetto, che prevede la valutazione del livello di impermeabilizzazione di tutto il territorio regionale, si compone di una fase sperimentale su tre territori comunali rappresentativi di diverse tipologie geografiche: Sestola, all'interno del comprensorio montano, Castel Maggiore, area in forte espansione urbana e Comacchio nella fascia costiera. Nella figura 1 si evidenziano tali aree nel contesto regionale.

Infine si è tenuto conto durante le analisi anche di una ulteriore caratterizzazione degli elementi trattati in funzione di categorie semplificate di Uso del Suolo, allo scopo di derivare uno strato informativo che descrivesse con il dettaglio delle grandi scale proprio del DBTR anche le destinazioni d'uso presenti sul territorio.





Figura 1 – Aree test utilizzate per la messa a punto della metodologia di elaborazione dati.

### Materiali e metodi

Il DBTR della Regione Emilia-Romagna descrive con elevato dettaglio tutti gli elementi presenti sul territorio per la sua caratterizzazione cartografica di base alle grandi scale, rappresentando pertanto una importante fonte informativa per il calcolo di dettaglio del grado di artificializzazione del suolo. Come fonte ausiliaria sono state impiegate le ortofoto AGEA, riprese nel periodo da giugno a settembre del 2008. Si tratta di ortofoto ad alta definizione con pixel di 50 centimetri, disponibili sia nella versione a colori (RGB), sia in quella all'infrarosso. Sono state utilizzate entrambe le versioni, visibile ed infrarosso, per la definizione di tipologie di particolari coperture, come certe superfici di impianti sportivi.

Il metodo di lavoro messo a punto sulle tre aree di test si articola nelle seguenti fasi principali:

1. analisi della struttura dati del DBTR in funzione degli obiettivi della specifica applicazione ed individuazione del set di livelli informativi (classi) a geometria poligonale da impiegare;
2. attribuzione di valori di impermeabilizzazione del suolo ai livelli del DBTR;
3. progettazione di procedure di estrazione ed analisi dati;
4. sintesi quantitative finali.

Per quanto riguarda la prima fase, il DBTR prevede una serie di livelli informativi organizzati in gruppi secondo le seguenti principali categorie tematiche:

| Descrizione gruppo                | impiego per analisi impermeabilizzato |
|-----------------------------------|---------------------------------------|
| immobili                          | sì                                    |
| manufatti e divisioni del terreno | sì                                    |
| viabilità e trasporti             | sì                                    |
| idrografia                        | sì                                    |
| reti tecnologiche                 | no                                    |
| vegetazione                       | sì                                    |
| altimetria                        | no                                    |
| forme del terreno                 | sì                                    |
| ambiti amministrativi             | no                                    |
| aree di pertinenza                | sì                                    |
| località significative            | no                                    |
| geodesia e punti di riferimento   | no                                    |

Figura 2 – Tabella dei gruppi tematici del DBTR in relazione allo studio delle aree impermeabilizzate.

Successivamente sono state analizzate per ogni gruppo le classi a tipologia poligonale, valutando per ciascuna anche la presenza di livelli di multirealtà con i rispettivi dettagli di approfondimento tematico gestiti con specifiche tabelle relazionate ed elenchi di valori di dominio, a cui associare i valori di impermeabilizzazione del suolo.

Da questo punto di vista le possibili attribuzioni sono le seguenti:

| categoria | tipologie di oggetti                                                                                                    | grado di impermeabilizzazione<br>% |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| 1         | edifici, manufatti e strutture artificiali che coprono completamente il terreno                                         | 100%                               |
| 2         | strutture dei territori edificati, pertinenze che per loro natura prevedono una parziale impermeabilizzazione del suolo | variabile (1 - 99 %)               |
| 3         | territori naturali, agricoli che non prevedono impermeabilizzazione del suolo                                           | 0 %                                |

*Figura 3 – Tabella delle principali categorie di raggruppamento dei livelli informativi in funzione dell'attribuzione del grado di impermeabilizzazione.*

Appartengono alla prima categoria tutti gli elementi relativi ad oggetti del territorio ben definiti, come edifici, altri manufatti, sedi della viabilità, ecc. che per coprono completamente il suolo.

Alla seconda categoria appartengono invece quelle tipologie di territorio che prevedono un grado di impermeabilizzazione del suolo parziale e variabile di caso in caso, come le pertinenze, gli impianti tecnologici, i cimiteri, gli aeroporti, ecc. In tali territori, che occupano peraltro una importante quota dei terreni antropizzati, si è deciso di procedere individuando per le aree di test le effettive aree impermeabilizzate, svolgendo sessioni di fotointerpretazione sulla base delle ortofoto AGEA 2008, suddividendo tali delineazioni nelle varie componenti con suolo permeabile o impermeabilizzato. Con una analisi statistica sono stati poi derivati gli indicatori di impermeabilizzato da applicare successivamente per tutto il territorio.

Infine, alla terza categoria appartengono le aree naturali ed agricole, considerate come completamente permeabili.

Per quanto riguarda la metodologia di elaborazione è da notare come lo schema del DBTR prevede la compresenza di molti livelli informativi di classe geometrica poligonale, con possibilità anche di sovrapposizione. Si è pertanto deciso di operare mediante analisi spaziale basate sulla funzione di tipo “union”, un operatore di *mapping overlay* tipico dei sistemi GIS (*Geographic Information System*) che sulla base di set di dati sovrapposti, restituisce un livello composto da tutti gli elementi presenti nell'intersezione, caratterizzati dai rispettivi indici e codici tematici, indipendentemente dalla simultanea compresenza geografica dei vari strati di input. Questo metodo consente quindi di mantenere tutta l'informazione del DBTR, definendo successivamente un metodo di attribuzione del livello di impermeabilizzato massimo per ogni elemento prodotto nell'intersezione effettuata con la funzione “union”.

Nella figura 4 si evidenzia lo schema del processo di elaborazione, basato sulla preliminare costruzione della tabella dizionario (figura 5) contenente i parametri di impermeabilizzazione e di uso del suolo per ogni tipologia del DBTR che partecipa all'elaborazione.

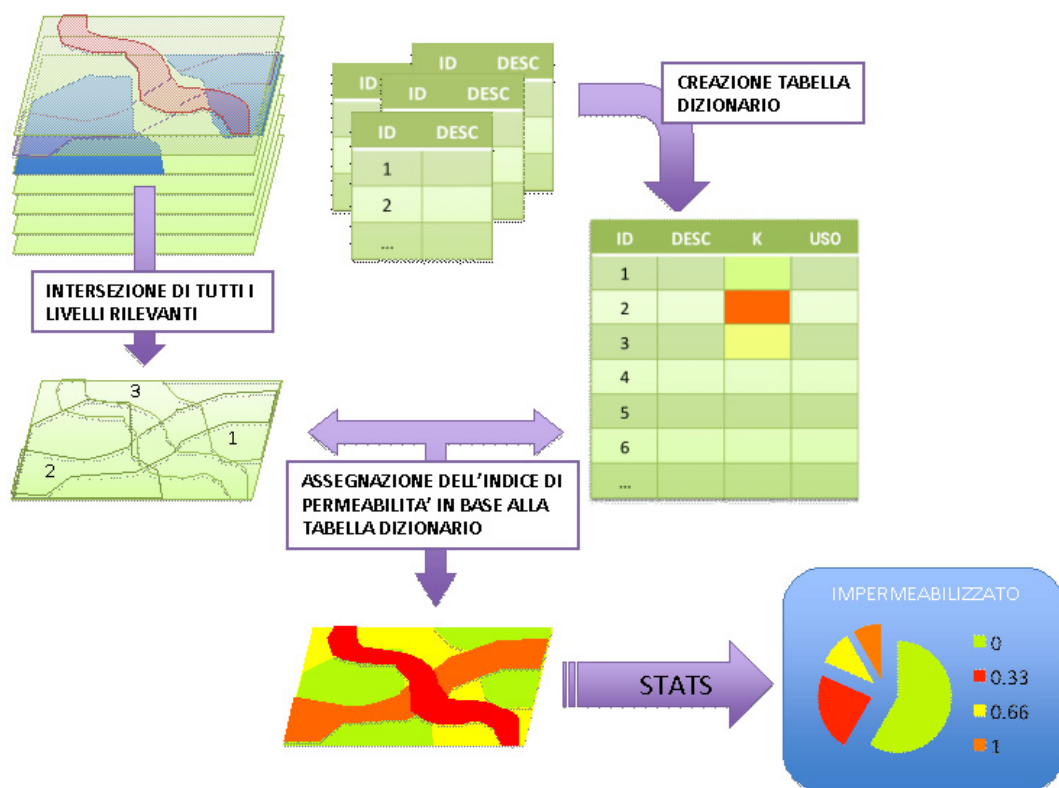


Figura 4 – Esempio di mapping overlay con la funzione union.

|     | Nome strato (ID_CV)              | gruppo_tem<br>atico | TY_E | Entità<br>contenute | multirealtà | dominio     | tab_dati | attributo                       | cod_perm | uso | liv_imp |
|-----|----------------------------------|---------------------|------|---------------------|-------------|-------------|----------|---------------------------------|----------|-----|---------|
| 291 | CGS Copertura generale del Suolo | IMMOBILI            | EDI  | Edificio            | si          | EDI_CAT_USO | EDI_ET   | pinacoteca                      | 3        | 110 | 1       |
| 292 | CGS Copertura generale del Suolo | IMMOBILI            | EDI  | Edificio            | si          | EDI_CAT_USO | EDI_ET   | Altra sede di attività cultural | 3        | 110 | 1       |
| 293 | CGS Copertura generale del Suolo | IMMOBILI            | EDI  | Edificio            | si          | EDI_CAT_USO | EDI_ET   | sede di attività sportive       | 3        | 110 | 1       |
| 294 | CGS Copertura generale del Suolo | IMMOBILI            | EDI  | Edificio            | si          | EDI_CAT_USO | EDI_ET   | piscina coperta                 | 3        | 110 | 1       |
| 295 | CGS Copertura generale del Suolo | IMMOBILI            | EDI  | Edificio            | si          | EDI_CAT_USO | EDI_ET   | palestra                        | 3        | 110 | 1       |
| 296 | CGS Copertura generale del Suolo | IMMOBILI            | EDI  | Edificio            | si          | EDI_CAT_USO | EDI_ET   | palaghiaccio                    | 3        | 110 | 1       |
| 297 | CGS Copertura generale del Suolo | IMMOBILI            | EDI  | Edificio            | si          | EDI_CAT_USO | EDI_ET   | Altra sede di attività sportive | 3        | 110 | 1       |
| 298 | CGS Copertura generale del Suolo | IMMOBILI            | EDI  | Edificio            | si          | EDI_CAT_USO | EDI_ET   | altre attività                  | 3        | 110 | 1       |
| 299 | CGS Copertura generale del Suolo | IMMOBILI            | EDI  | Edificio            | si          | EDI_CAT_USO | EDI_ET   | campeggio                       | 3        | 110 | 1       |
| 300 | CGS Copertura generale del Suolo | IMMOBILI            | EDI  | Edificio            | si          | EDI_CAT_USO | EDI_ET   | Altra sede di attività          | 3        | 110 | 1       |
| 301 | CGS Copertura generale del Suolo | IMMOBILI            | EDI  | Edificio            | si          | EDI_CAT_USO | EDI_ET   | Altro ricreativo                | 3        | 110 | 1       |
| 302 | CGS Copertura generale del Suolo | IMMOBILI            | EDI  | Edificio            | si          | EDI_CAT_USO | EDI_ET   | Non conosciuto                  | 3        | 112 | 1       |
| 303 | CGS Copertura generale del Suolo | IMMOBILI            | EDI  | Edificio            | si          | EDI_CAT_USO | EDI_ET   | Non assegnato                   | 3        | 112 | 1       |
| 304 | CGS Copertura generale del Suolo | IMMOBILI            | EDI  | Edificio            | si          | EDI_CAT_USO | EDI_ET   | Altro                           | 3        | 112 | 1       |
| 305 | CGS Copertura generale del Suolo | IMMOBILI            | EDI  | Edificio            | si          | EDI_CAT_USO | EDI_ET   | Artigianale                     | 3        | 111 | 1       |
| 311 | CGS Copertura generale del Suolo | MANUFATTI           | MSD  | Muro di sosteg      | si          | MSD_TY_MSD  | msd_et   | pavimentato                     | 3        | 28  | 1       |
| 312 | CGS Copertura generale del Suolo | MANUFATTI           | MSD  | Muro di sosteg      | si          | MSD_TY_MSD  | msd_et   | muro di sostegno                | 3        | 28  | 1       |

Figura 5 – Stralcio della tabella dizionario, attributi derivati dal DBTR associati a nuovi codici tematici.

Relativamente all'attribuzione dei codici di uso del suolo alle categorie di territorio è stata allestita una specifica legenda, organizzata in modo da mantenere una certa coerenza con l'impostazione del DBTR:

| <b>ambiti di famiglie tematiche del DBTR</b> | <b>descrizione</b>                | <b>codice di uso del suolo</b> |
|----------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| edifici e viabilità                          | residenziale                      | 101                            |
|                                              | amministrativo                    | 102                            |
|                                              | servizio pubblico                 | 103                            |
|                                              | militare                          | 104                            |
|                                              | culto                             | 105                            |
|                                              | trasporti                         | 106                            |
|                                              | commerciale                       | 107                            |
|                                              | industriale                       | 108                            |
|                                              | agricoltura                       | 109                            |
|                                              | ricreativo                        | 110                            |
|                                              | artigianale                       | 111                            |
|                                              | altri edifici                     | 112                            |
| pertinenze e manufatti                       | residenziale                      | 21                             |
|                                              | produttivo, commerciale e servizi | 22                             |
|                                              | reti ed infrastrutture            | 23                             |
|                                              | aree portuali                     | 24                             |
|                                              | aeroporti                         | 25                             |
|                                              | cantieri, cave e discariche       | 26                             |
|                                              | aree verdi e ricreative           | 27                             |
|                                              | altre pertinenze e manufatti      | 28                             |
| forme terrestri, idrografia e vegetazione    | aree idriche                      | 1                              |
|                                              | aree agricole                     | 2                              |
|                                              | boschi                            | 3                              |
|                                              | aree temporaneamente non vegetate | 4                              |
|                                              | pascoli, incolti                  | 5                              |
|                                              | vegetazione arbustiva, riparia    | 6                              |
|                                              | rocce e suolo affiorante          | 7                              |

*Figura 6 – Tabella dei codici di uso del suolo assegnati agli elementi territoriali derivati dalle elaborazioni del DBTR.*

Per i codici di tale legenda sono stati scelti dei valori che esprimessero un aumento del grado di antropizzazione del territorio, in modo che all'elemento venga attribuito il maggior indice di impermeabilizzazione anche in caso di sovrapposizione dei tematismi di base, mediante l'impiego dell'operatore "max".

Infine il progetto prevede l'implementazione con un pannello di gestione delle elaborazioni, in modo che possa essere prodotto automaticamente l'intero ciclo di calcolo per ogni Comune. Tale metodo sarà provvisto anche di indicatori di controllo di qualità per l'individuazione di eventuali anomalie nei risultati prodotti.

## Risultati

In figura 7 si riporta la carta dell'impermeabilizzato del Comune di Castel Maggiore in cui si può osservare il territorio suddiviso in 5 classi di impermeabilizzato. Esaminando l'ingrandimento del centro urbano si nota che la maggior parte delle superfici si colloca nelle due classi a maggior grado di impermeabilizzazione (maggiore di 70%).

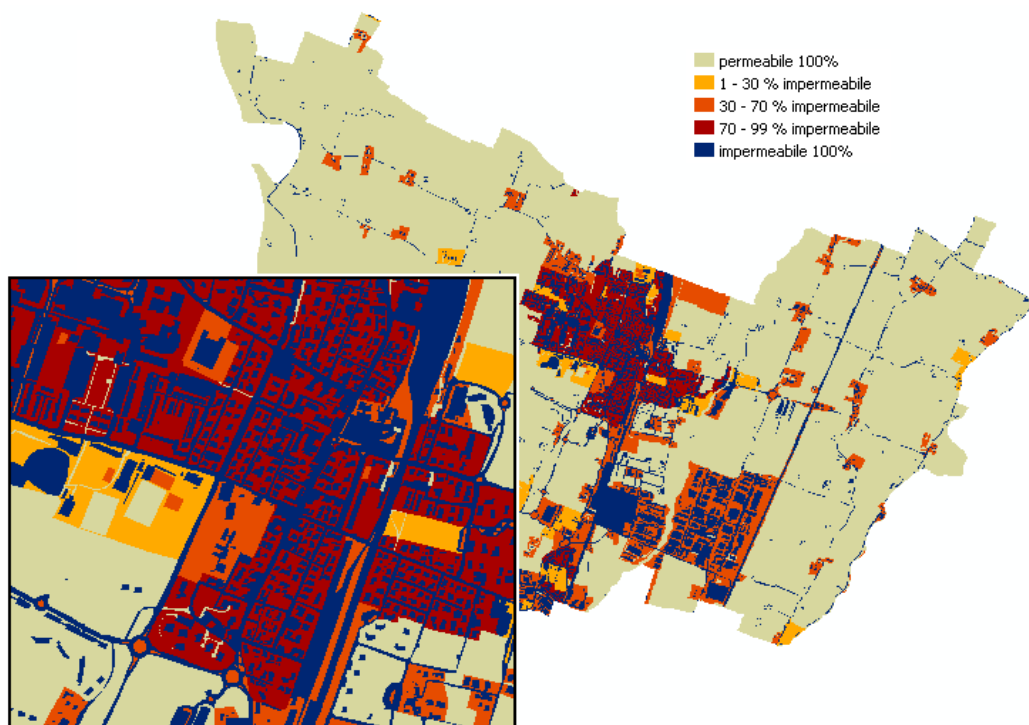


Figura 7 – Mappa del livello di impermeabilizzazione. Comune di Castel Maggiore (Bo).

In figura 8 riportiamo i valori delle superfici impermeabilizzate per i tre Comuni analizzati. Castel Maggiore presenta un livello di impermeabilizzazione tre volte maggiore rispetto a quello di Sestola e di Comacchio.

| Comune          | superficie totale<br>(ha) | superficie<br>impermeabilizzata<br>(ha) | impermeabilizzato<br>(%) |
|-----------------|---------------------------|-----------------------------------------|--------------------------|
| Sestola         | 5.244                     | 242                                     | 4,6                      |
| Castel Maggiore | 3.042                     | 475                                     | 15,6                     |
| Comacchio       | 28.478                    | 1.174                                   | 4,1                      |

Figura 8 – Valori di impermeabilizzazione del suolo nei tre comuni della sperimentazione.

In figura 9 invece si riporta uno stralcio della rappresentazione dell'Uso del Suolo derivato mediante l'attribuzione dei codici tematici riportati in figura 6. Si tratta di una rappresentazione in cui si è scelto di mantenere tutta la gamma informativa che è possibile derivare dal DBTR per evidenziare le sue possibilità di descrizione del territorio a grande scala.

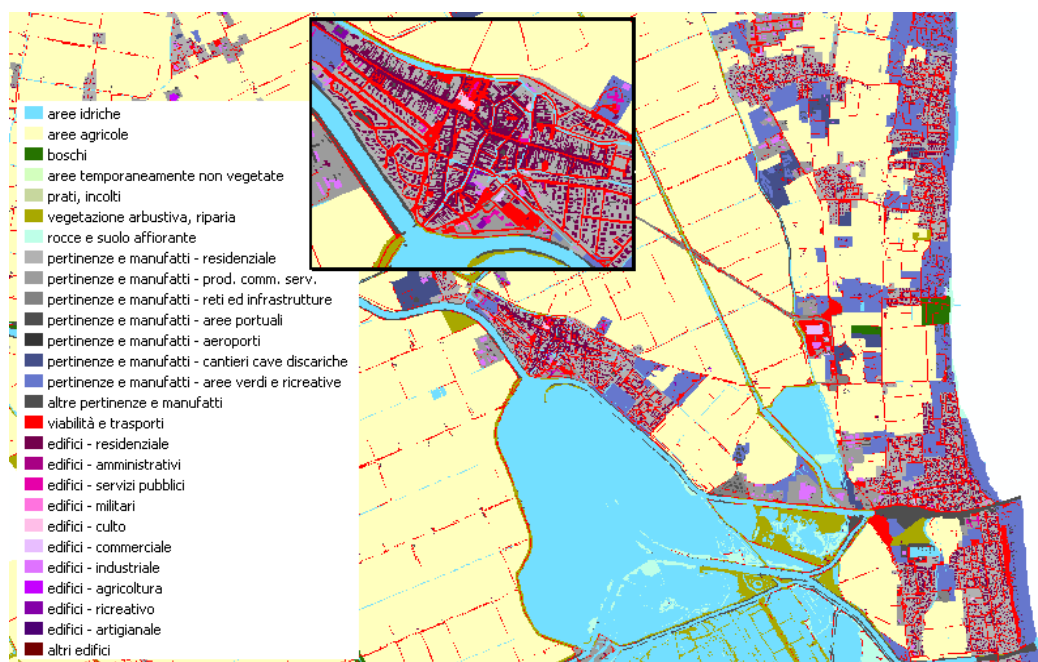


*Figura 9 – Rappresentazione dell'Uso del Suolo derivato dai codici tematici del DBTR.*

Il progetto si concluderà entro Dicembre 2011 con l'elaborazione di tutti i Comuni della Regione, condotta con il metodo sperimentato in questa fase iniziale di test.

## Conclusioni

Il metodo di calcolo proposto permette di avere dati molto precisi e puntuali sull'impermeabilizzazione dei suoli dell'Emilia-Romagna. In particolare si possono avere notizie precise sia sulla localizzazione dei suoli impermeabilizzati sia sulla loro estensione. Questi dati potranno essere quindi di valido supporto per la Pianificazione regionale in ambito Paesistico e Territoriale.

La disponibilità di informazioni di tipo quantitativo sull'intero territorio Regionale della risorsa suolo rende possibile analizzare i costi, in termini di perdita della risorsa stessa, relativi all'espansione urbana sul territorio.

Inoltre è possibile fare un confronto sia a livello comunale sia prendendo come riferimento altri ambiti territoriali. Va sottolineato infine che, partendo dal Data Base Topografico Regionale, si ha una descrizione dettagliata delle principali tipologie di territori impermeabilizzati, sia riguardo alla superficie occupata, sia in riferimento alla loro dislocazione.

## Riferimenti bibliografici

- Barberis R. et al., (2006), "Impermeabilizzazione e consumo dei suoli nelle aree urbane", Qualità dell'ambiente urbano, Il rapporto APAT, Roma.
- Belvederi G. et al., (2010), "Il nuovo database dell'uso del suolo della Regione Emilia-Romagna", Atti 15ª Conferenza Nazionale ASITA.
- Corticelli S., Guermandi M., Mariani M.C., (2008), "Due indici per valutare l'impermeabilizzazione e il consumo di suolo", Atti 12ª Conferenza Nazionale ASITA.
- EC, (2004), Final report of the European Commission, directorate general environment, task group 5 on soil sealing, soil in urban areas, Land use and Land Use Planning, European Commission, Essen.



## Servizio WPS di planning realistico GNSS per l'intero territorio italiano

Tiziano Cosso (\*), Bianca Federici (\*\*), Damiano Natali (\*\*), Domenico Sguerso (\*\*)

(\*) Gter srl, Innovazione in Geomatica, GNSS e GIS

Via Greto di Cornigliano 6r, 16152 Genova, Tel. +39 010 8694830, Fax +39 010 8694737

(\*\*) DICAT: Dip. di Ingegneria delle Costruzioni, dell'Ambiente e del Territorio, Università degli Studi di Genova  
Via Montallegro 1, 16145 Genova, Tel. 0103532421, Fax 0103532546

tiziano.cosso@gter.it, bianca.federici@unige.it, damiano.natali@dicat.unige.it, domenico.sguerso@unige.it

### Sommario

A supporto dei rilievi GNSS è generalmente utile, per ottimizzare i tempi di rilievo, effettuare una attenta analisi della visibilità satellitare al fine di individuare la finestra oraria nella quale effettuare le misure (planning satellitare). Numerosi applicativi, disponibili anche sul web [1], consentono tale operazione su singoli punti e senza tenere in conto delle ostruzioni naturali o artificiali al segnale, se non implementate manualmente dall'utente previa ricognizione in sito particolarmente onerosa.

Di recente è stato studiato ed implementato un servizio WPS (*Web Processing Service*) basato su tecnologia *Open Source* che consente di effettuare un planning satellitare realistico su area, tenendo conto delle reali ostruzioni al segnale date dalla morfologia del terreno o del costruito mediante l'utilizzo di DTM o DSM (Federici et al., 2010). Il calcolo delle ostruzioni e della visibilità satellitare è effettuato da appositi moduli implementati all'interno di GRASS (*r.obstruction ed r.planning.static*) mentre per l'integrazione del WPS in un WebGIS è stato utilizzato PyWPS (*Python Web Processing Service*). Lo sviluppo di tale servizio prototipale è stato curato in stretta sinergia con il DICA dell'Università degli Studi di Trento, nell'ambito delle attività del progetto PRIN 2007 "Interoperabilità e gestione cooperativa di dati geografici dinamici multidimensionali e distribuiti con strumenti GIS liberi ed *Open Source*" con coordinatore nazionale l'Ing. Paolo Zatelli, ed è stato applicato alla provincia di Trento e alla regione Liguria. Si intende qui presentare la sua estensione all'intero territorio nazionale [2], utilizzando il modello digitale del terreno *Global DEM ASTER*, riproiettato con risoluzione 40 metri sulla proiezione cartografica UTM.

Tenendo conto delle attuali approssimazioni intrinseche alla procedura implementata, di quelle introdotte dall'almanacco satellitare e dal GDEM (Federici & Sguerso, 2009), l'utente potrà richiedere planning realistici per aree di estensione dell'ordine della decina di chilometri. Si sottolinea inoltre come, analogamente al servizio di *planning* areali, è disponibile un servizio di planning cinematico lungo traiettorie individuate dall'utente, particolarmente utile a supporto delle operazioni di *car-mapping*.

## Abstract

The spread presence of GNSS Permanent Station Networks makes satellite surveys simpler, quicker and cheaper, and the achievement of high precisions easier. However, the result of a GNSS campaign benefits from an accurate planning, especially in presence of natural or artificial obstructions that make satellite observations difficult. Most of the GNSS office suites provide planning tools to analyze the satellite's visibility; visibility plots, sky plots and DOP charts are commonly built from the GNSS almanac without taking into account the natural or artificial obstructions to the signal, if not manually implemented by the user after a survey on site.

Recently it has been studied and implemented a WPS (Web Processing Service) based on open source technology that allows to make a realistic planning of satellite area, taking into account the real obstructions to the signal given by the morphology of the land using of the DTM or DSM (Federici et al., 2010). The calculation of satellite visibility obstruction is performed by special modules implemented within GRASS (r.obstruction and r.planning.static), while inclusion of the WPS in a WebGIS was performed by PyWPS (Python Web Processing Service). The development of this service has been edited in close synergy with the DICA dell'Università di Trento, as part of the project PRIN 2007 "Interoperability and cooperative management of geographic data and multi-dimensional dynamic distributed with free and Open GIS Source "national coordinator Eng. Paolo Zatelli, and was applied to the province of Trento and the Liguria region.

Here we mean to present its extension to the whole country [2], using the digital terrain model ASTER Global DEM, reprojected resolution on 40 meters UTM map projection. Taking into account the current approximations inherent to the procedure implemented, those introduced by the satellite and by GDEM (Federici & Sguerso, 2009), the user can ask for realistic planning areas of extension of the order of tens of kilometers. It also highlights how, like the areal planning service, planning service is available along kinematic trajectories identified by the user, particularly useful in support of operations car-mapping.

## 1 Introduzione

L'uso della tecnologia satellitare nelle operazioni di rilievo in molteplici campi è sempre più diffusa e sempre più funzionale, anche in conseguenza dei crescenti servizi e tecnologie messe a disposizione degli utenti.

La pianificazione di un rilievo GNSS è di norma utile per poter valutare a priori le condizioni di visibilità satellitare per un determinato punto in cui si prevede di effettuare il rilievo. Come noto, la fattibilità di un rilievo satellitare e la possibilità di ottimizzare le precisioni del posizionamento è funzione del numero di satelliti visibili e della loro configurazione geometrica nel cielo. Poiché le orbite satellitari sono note con sufficiente precisione mediante parametri di orbita raccolti all'interno dell'almanacco satellitare, conoscendo ora, durata e posizione del punto in cui si effettuerà il rilievo è possibile prevedere le condizioni di visibilità satellitare.

Se è vero infatti che con strumenti in grado di ricevere segnali GLONASS in genere la minima visibilità satellitare è quasi sempre ampiamente garantita, è altrettanto vero che numerose applicazioni e situazioni richiedono precisioni ottenibili solo con un ampio numero di satelliti visibili. Basti pensare a rilievi effettuati in ambiente cittadino (all'interno dei cosiddetti "canyon urbani"), per applicazioni legate al car-mapping oltreché in ambienti in cui il segnale satellitare risulta facilmente disturbato come ad esempio in corrispondenza di aree boschive. Ricevere il maggior numero di satelliti consente quindi di ottenere una ridondanza di osservazioni molto utile in termini di accuratezza del risultato finale sia in caso di rilievi RTK (Real Time Kinematic) sia in caso di rilievi tradizionali da elaborarsi in PP (Post -Processing).

Sono da tempo disponibili moduli dedicati all'interno di pacchetti *software* di elaborazione dati GNSS oltre che alcuni applicativi online [1], che consentono di scegliere il punto in cui effettuare il rilievo, i satelliti da utilizzare, l'angolo di *cut-off*.

Punto debole di tali applicativi è la gestione delle eventuali ostruzioni presenti. Infatti è evidente

come un calcolo della visibilità satellitare che tenga in conto soltanto della posizione reciproca di punto a terra e satelliti possa risultare fortemente inattendibile a causa della totale assenza di informazioni legate alla morfologia del terreno circostante e alla presenza di edifici e altre strutture antropiche. Quasi tutti gli applicativi suddetti consentono l'inserimento da parte dell'utente delle ostruzioni presenti attorno al punto in oggetto, ma ciò presuppone un precedente sopralluogo si consideri però come un'operazione di questo tipo sia però estremamente dispendiosa in termini di tempo a tale punto da rendere l'intera operazione di planning poco conveniente nella maggior parte dei casi.

La procedura innovativa, già descritta in [2], prevede una procedura in ambiente GIS-GRASS che consente di effettuare un planning satellitare sia su di un punto che su di un'area tenendo conto delle ostruzioni date dalla morfologia del terreno o da altri manufatti mediante l'utilizzo di modelli quali DEM e DSM. Viene infatti definito planning areale realistico proprio perchè consente di effettuare una valutazione della visibilità satellitare aderente alla realtà considerando in automatico, senza la necessità di sopralluoghi preliminari, le ostruzioni presenti nell'area di interesse.

Nel presente articolo si presenta l'applicativo web con cui viene messo a disposizione gratuitamente su tutto il territorio nazionale il servizio di planning satellitare "realistico".

## **2 L'implementazione del servizio WPS prototipale**

Si è ritenuto che una funzione di planning satellitare potesse essere di maggiore fruibilità se veicolata da un servizio Web ad-hoc, con un interfaccia grafica che renda facilmente individuabile l'area di interesse e il settaggio dei parametri necessari. Per tale motivo si è studiato ed implementato un servizio WPS basato su tecnologia Open Source in stretta sinergia con il DICA dell'Università degli Studi di Trento, nell'ambito delle attività del PRIN 2007 "Interoperabilità e gestione cooperativa di dati geografici dinamici multidimensionali e distribuiti con strumenti GIS liberi ed Open Source" con coordinatore nazionale l'Ing. Paolo Zatelli, ed è stato applicato alla provincia di Trento e alla regione Liguria [2] (Federici et al., 2011).

Il servizio prototipale consente di effettuare una pianificazione della visibilità satellitare GNSS su una determinata area tenendo conto delle reali ostruzioni al segnale date dalla morfologia del terreno o del costruito, offrendo un'interfaccia grafica che ne permetta l'uso anche ad utenti non specialisti GIS. In generale, la funzione dell'applicazione WPS è quella di integrare le pagine Web con funzionalità proprie dei software GIS, in particolare se queste richiedono dati di input o operazioni preliminari di non immediata comprensione. Il calcolo che permette la creazione delle mappe di visibilità realistica è effettuato mediante due moduli di GRASS implementati, ottimizzati e validati nel corso di alcune tesi di laurea presso le Università degli Studi di Trento e di Genova a partire dal 1998. Il primo modulo (r.obstruction) determina le ostruzioni reali insistenti sulle aree in esame a partire da modelli tridimensionali della superficie orografica (DTM) e/o dell'edificato (DSM). In seguito, utilizzando gli almanacchi delle costellazioni GNSS a disposizione, il secondo modulo (r.planning.static) crea le carte sia della visibilità satellitare realistica che dell'indice PDOP (Positioning Dilution Of Precision), entrambi valutati per singoli istanti o per una finestra temporale sull'area definita dall'operatore. Qualora le interrogazioni siano effettuate per intervalli temporali, le valutazioni riportate rappresentano la peggiore situazione riscontrabile in quel punto nell'intero intervallo temporale, corrispondenti cioè alla minima numerosità satellitare ed al massimo indice PDOP. Inoltre, questo secondo modulo permette il calcolo dell'indice di visibilità percentuale giornaliero, come fornito dal software TEQC dell'UNAVCO per i controlli di qualità, di utilità alla individuazione di siti idonei ad ospitare Stazioni Permanenti GNSS.

L'integrazione della procedura WPS all'interno del WebGIS è stata effettuata mediante il programma PyWPS, scelto perchè da un lato garantisce il supporto nativo a GRASS, dall'altro risulta facile l'implementazione in linguaggio Python delle sequenze di comandi GRASS che si intendono eseguire lato server. Il sistema utilizza Apache quale web server per la pubblicazione delle pagine web in Internet ed il WebGIS Geoserver per la creazione dei layer grafici a partire da

informazioni spaziali (nel nostro caso il DTM ASTER della regione Liguria). Per la realizzazione dell'interfaccia grafica e la gestione dei layers nonché delle finestre di scelta sono invece state utilizzate le librerie MapFish (unione delle librerie [ExtJS](#), [OpenLayers](#), [GeoExt](#)).

### **3 Il servizio WPS sull'intero territorio nazionale**

L'estensione dello stesso servizio all'intero territorio nazionale, curata da Gter srl, spin-off dell'Università degli Studi di Genova, è oggetto del presente lavoro [3].

Per la valutazione delle ostruzioni viene utilizzato il Global DEM ASTER, reso disponibile dalla NASA per tutta la superficie terrestre tra le latitudini 83N e 83S con risoluzione 1' x 1' [5], e la cartografia del progetto OpenStreetMap [6] come layer di base. Il calcolo viene effettuato nel sistema di riferimento WGS84 e proiezione cartografica Sferica di Mercatore, identificato dal codice EPSG (European Petroleum Survey Group [7]) 900913 per evitare la separazione del territorio italiano in due differenti fusi. Tenendo conto delle attuali approssimazioni intrinseche alla procedura implementata e quelle introdotte dall'almanacco satellitare oltre che dal GDEM (Federici & Sguerso, 2009), la risoluzione spaziale delle mappe risultanti è pari a 40 metri. La risoluzione spaziale delle mappe è anche il risultato di un compromesso tra precisione e tempi di calcolo, infatti se l'utente richiede planning realistici per aree di estensione dell'ordine della decina di chilometri, per limitare i tempi di calcolo, le mappe risultanti avranno risoluzione spaziale dell'ordine dei cento metri, con tempi di attesa di pochi minuti.

### **4 La funzione Multistation**

Sempre più frequentemente i rilievi satellitari di precisione vengono effettuati in appoggio a servizi, siano essi per il tempo reale o per il post processing, basati su infrastrutture di rete. Per tale motivo si è ritenuto particolarmente utile implementare una nuova funzionalità per il *planning multistation*. Infatti il numero di satelliti utilizzabili, e conseguentemente anche la loro dislocazione geometrica, nel caso ci si appoggi a servizi di rete non è solo funzione dei satelliti visibili dal rover, ma piuttosto dai satelliti visibili in comune tra il rover e le stazioni permanenti costituenti la rete.

La funzionalità multistation consente di selezionare le stazioni permanenti a cui ci si appoggia oltre all'area di proprio interesse analogamente a quanto descritto per la funzionalità base. In questo modo la visibilità satellitare tutti i parametri conseguenti terranno automaticamente in conto soltanto dei satelliti effettivamente utilizzabili per dal rover e dalla rete di stazioni permanenti

### **5 Fruizione del servizio**

Il servizio prevede una unica interfaccia grafica dalla quale è possibile inserire tutti i i parametri necessari all'elaborazione (Fig. 1).

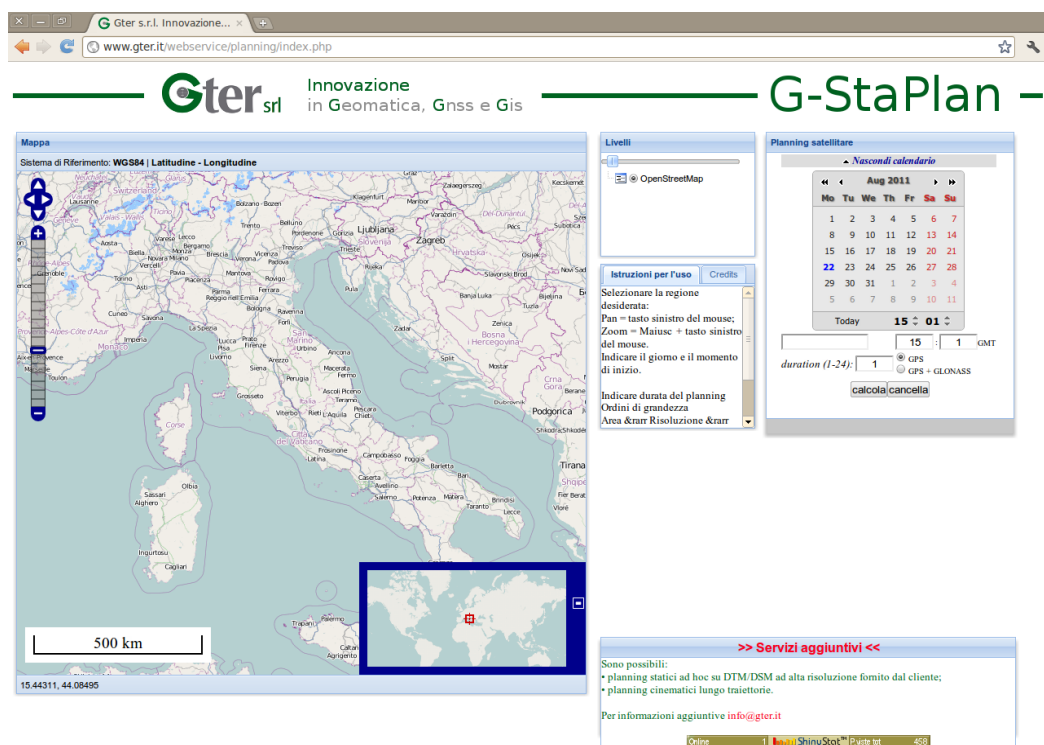


Figura 1 – Pagina Web del servizio di planning satellitare realistico.

Per prima cosa è necessario individuare l'area di interesse su cui effettuare il calcolo, mediante la finestra “mappa” su cui viene visualizzato come layer informativo la cartografia di Openstreetmap mediante un servizio WMS. In questa fase si deve tenere presente che in funzione dell'area scelta cambieranno i tempi di calcolo e la risoluzione delle carte in output. Individuando delle aree di circa 100 metri di lato la risoluzione delle carte in output sarà di 40 x 40 metri e i tempi di calcolo di pochi secondi; qualora si individuino aree di 10 km o più di lato verranno restituite carte con una risoluzione di 100 x 100 metri e si avranno dei tempi di calcolo di pochi minuti. La finestra “planning satellitare”, individuabile alla destra della schermata consente di inserire tutti i parametri di input:

- data del rilievo
- ora del rilievo
- durata del rilievo
- uso di satelliti GPS o GPS/GLONASS

Con il tasto “calcola” si lancia la procedura che restituisce, con i tempi e modi descritti in precedenza, 5 layer raster che possono essere accesi e spenti all'occorrenza sopra la mappa principale. Tali mappe raster indicano rispettivamente:

- il numero di satelliti visibili all'istante iniziale;
- l'indice PDOP all'istante iniziale;
- il minimo numero di satelliti visibili durante la finestra temporale del rilievo;
- il massimo indice PDOP durante la finestra temporale del rilievo;
- l'indice di visibilità percentuale giornaliero.

Tali mappe raster vengono inoltre rese disponibili in formato ASCII GRID in un unico file .zip scaricabile, per poter essere caricate direttamente sul proprio *software desktop* GIS.

Il servizio così configurato è liberamente accessibile a chiunque lo desideri al link segnalato [3].

Ulteriori servizi aggiuntivi sono previsti mettendosi in contatto via email, con risultati personalizzati, senza l'utilizzo dell'interfaccia Web.

In particolare, qualora l'utente sia in possesso di DEM o DSM a più alta risoluzione, può richiedere un planning specifico utilizzando i medesimi modelli digitali.

Inoltre è disponibile una procedura parallela, basata sugli stessi principi descritti ma non veicolata da un servizio WPS, che consente di effettuare planning cinematici lungo un assegnato percorso, in aderenza al terreno (DTM) o ad una prefissata quota. Il primo caso è pensato principalmente per il car-mapping, il secondo è particolarmente utile per pianificare voli fotogrammetrici o per il monitoraggio ambientale. Il planning cinematico richiede in input il DTM/DSM dell'area in esame, la traiettoria del mezzo, l'angolo di cut-off, l'almanacco GNSS, data ed ora dell'istante di partenza e la velocità media del mezzo. Esso fornisce in output tutti i parametri descritti in precedenza (numero di satelliti, PDOP...) per le sole celle appartenenti alla traiettoria considerata, ma in differenti tempi funzione dell'istante di partenza e della velocità del mezzo.

## 6 Conclusioni

Nel presente lavoro è stato descritto il nuovo servizio WPS di planning satellitare realistico esteso all'intero territorio nazionale, oltre alla nuova funzionalità multistation che consente di ottenere informazioni relative ai satelliti visibili e realmente utilizzabili durante un posizionamento in appoggio ad una rete di stazioni permanenti GNSS.

Tale servizio, basato su di una procedura implementata in ambiente GIS-GRASS, nasce da una collaborazione tra il DICAT dell'Università degli studi di Genova e il DICA dell'Università degli Studi di Trento, nell'ambito delle attività del PRIN 2007 "Interoperabilità e gestione cooperativa di dati geografici dinamici multidimensionali e distribuiti con strumenti GIS liberi ed Open Source" con coordinatore nazionale l'Ing. Paolo Zatelli, ed è stato applicato alla provincia di Trento e alla Regione Liguria [2] (Federici et al., 2011).

L'estensione all'intero territorio nazionale è stata curata da Gter srl, Spin-off dell'Università degli studi di Genova, che rende disponibile sul proprio sito il servizio con l'utilizzo di dati liberi. Inoltre può fornire, previo accordo specifico con singoli clienti, planning statici più dettagliati, qualora i clienti stessi siano in possesso di DTM o DSM ad alta risoluzione o planning cinematici lungo traiettorie concordate, particolarmente utili ad esempio per la progettazione di campagne di misura con veicoli in movimento.

## Riferimenti bibliografici:

- Federici B., Giacomelli D., Sguerso D., Vitti A., Zatelli P., 2011. A Web Processing Service for GNSS realistic planning. Applied Geomatics, ed. Springer, DOI: 10.1007/s12518-011-0058-9. Presented also at WebMGS 2010, 1st International Workshop on Pervasive Web Mapping, Geoprocessing and Services [http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/4-W13/ID\\_10.pdf](http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/4-W13/ID_10.pdf)
- Federici B., Sguerso D., 2009. Planning GNSS realistico per applicazioni statiche e cinematiche. Bollettino SIFET – sessione scientifica, ISSN: 1721-971X, n. 1, pp. 79-93.

## Web sites:

- [1] <http://www.ashtech.com/web-mission-planning-2712.kjsp>
- [2] <http://www.dicat.unige.it/geomatica/lab/wps>
- [3] <http://www.gter.it/webservice/planning>
- [4] <http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>
- [5] <http://www.openstreetmap.org/>
- [6] <http://spatialreference.org/ref/epsg/>



## **Analisi e monitoraggio della pista dell'Aeroporto "C. Colombo" di Genova tramite rilievo GNSS e livellazione di precisione**

Tiziano Cosso (\*), Paolo Dabove (\*\*), Domenico Sguerso (\*\*\*)

(\*) Gter s.r.l. Innovazione in Geomatica, GNSS e GIS, Via Greto di Cornigliano 6r, 16152 Genova, 010-8694830

(\*\*) Politecnico di Torino, Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino, 011-0907662

(\*\*\*) Università degli Studi di Genova, Via Montallegro 1, 16145 Genova, 010-3532421  
tiziano.cosso@gter.it, paolo.dabove@polito.it, domenico.sguerso@unige.it

### **Riassunto esteso**

Il presente lavoro nasce dall'esigenza dell'Ente che gestisce l'Aeroporto "C. Colombo" di Genova di monitorare lo stato della pista dal punto di vista altimetrico, al fine di individuarne deformazioni o spostamenti.

Per raggiungere lo scopo prefissato, gli Autori hanno deciso di integrare tre tecniche diverse: il rilievo GNSS in RTK (*Real Time Kinematic*) in appoggio alla Rete di Stazioni Permanenti della Regione Liguria, il rilievo con laser scanner e la livellazione geometrica di precisione.

In un primo momento, per raggiungere gli scopi prefissati, si è deciso di valutare se potesse bastare l'utilizzo della sola tecnica satellitare: si è perciò provveduto ad effettuare un rilievo GNSS in tempo reale in appoggio alla rete di Stazioni Permanenti della Regione Liguria ([www.gnssliguria.it](http://www.gnssliguria.it)). I rilevamenti plano-altimetrici hanno interessato le aree della Pista di Volo RWY 10-28 in termini di sezioni e profili, svolti sia in modalità cinematica pedestre sia posizionando un ricevitore GNSS su un furgone.

In seguito è stata effettuata una livellazione geometrica di precisione, alcuni profili con strumentazione laser scanner e rilievi GNSS statici.

Per quanto riguarda il rilievo GNSS NRTK, si sono impiegati due ricevitori doppia frequenza L1/L2 e doppia costellazione (GPS+GLONASS) con ricezione di correzioni differenziali di tipo Max Auxiliary Control (MAC) ed intervallo di acquisizione epoche pari ad 1 secondo.

Le correzioni differenziali fornite dal Servizio permettono di ottenere le posizioni dei punti rilevati nel nuovo sistema di riferimento nazionale, ETRF2000(2008.0), attivo dal 1 gennaio 2009.

Per offrire la possibilità di inserire i rilievi effettuati nella cartografia a disposizione della Committenza, si è proceduto ad effettuare apposita trasformazione tra sistemi di riferimento per portare i rilievi effettuati nel sistema di riferimento Roma'40, con proiezione cartografica di Gauss-Boaga. Le altezze ellissoidiche ottenute nelle campagne GNSS sono state trasformate in quote ortometriche, ossia in riferimento al geoide (quote cosiddette "sul livello medio del mare", "s.l.m.m."). Entrambe le trasformazioni sono state eseguite mediante software e parametri acquistati dall'Istituto Geografico Militare (I.G.M.).

I risultati ottenuti da tali rilievi sono stati confrontati anche con un rilievo laser ed una livellazione geometrica svolta dagli Autori, quest'ultima scelta come riferimento per l'analisi della variazione delle quote dei punti interessati.

I risultati dei rilevamenti GNSS NRTK hanno evidenziato l'importanza di tale tecnica di rilievo come mero rilevamento di dettaglio. Le coordinate plano-altimetriche sono state ottenute con la precisione tipica della metodologia stessa; la variabilità della soluzione GNSS osservata è risultata funzione sia del tipo di soluzione GPS+GLONASS o solo GPS, sia della configurazione satellitare. Inoltre, i rilievi NRTK svolti in modalità cinematica (a piedi e sul furgone) non presentano risultati particolarmente differenti; risulta quindi conveniente accelerare il rilievo per le parti su asfalto eseguendole con l'utilizzo di mezzi in movimento (furgone) e dedicare invece maggiore tempo

nell'effettuare un rilievo statico di precisione. Esso è stato effettuato in appoggio ad una SP, per realizzare una rete nella quale inquadrare il rilievo di dettaglio e fornire così coordinate con valenza assoluta. Particolare importanza è dovuta al fatto che tra due sezioni della pista, la cui distanza è pari a circa 1400 m, vi siano 9 cm di variazioni di ondulazione geoidica.

La livellazione geometrica di precisione ha ovviamente permesso di ottenere dislivelli con precisioni nettamente superiori a quelle possibili con qualsiasi metodologia satellitare, sia per la precisione intrinseca della tecnica stessa, che per la non necessaria trasformazione di datum altimetrico. I risultati ottenuti sono coerenti e concordi con quelli relativi alla precedente livellazione, da cui si può dedurre che non vi siano deformazioni sostanziali della pista. Si sottolinea comunque la necessità di posizionare un caposaldo di livellazione nelle zone limitrofe alla pista al quale potersi "agganciare" per una livellazione di precisione.

Di notevole interesse si sono rivelati i rilievi con laser scanner, montato su un veicolo, per la determinazione dei profili altimetrici integrando tale strumentazione con quella GNSS: i risultati sono stati soddisfacenti sia per le scansioni a media che ad alta risoluzione.

La descrizione dettagliata dell'esperimento e dei risultati sarà oggetto di una pubblicazione futura.

## **La tecnica interferometrica dei Persistent Scatterer applicata ai dati SAR COSMO-SkyMed nel Piano di Telerilevamento Ambientale**

S. Costabile (\*), M. Cudemo (\*), L. Petriglia (\*) F. Minati (\*\*), A. Ferretti (\*\*\*)

(\*) Ministero dell'Ambiente, via C.Colombo 44, 00147 Roma, Tel. 0657228603

(\*\*) e-GEOS, an ASI/Telespazio company, Via Cannizzaro,71 00156 Roma, Tel. 064071

(\*\*\*) T.R.E. S.r.l, Ripa di Porta Ticinese 79, 20143 Milano, Tel. 024343121

Il Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale (PST-A), ai sensi della legge 179 del 31 luglio 2002 art. 27, è un Accordo di Programma tra Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM), Presidenza del Consiglio dei Ministri - Dipartimento della Protezione Civile (DPC) e Ministero della Difesa (MD) d'intesa con le Regioni e le Province Autonome con l'obiettivo di costituire una banca dati ad altissima risoluzione rappresentativa del territorio nazionale, finalizzata alla prevenzione e mitigazione del dissesto idrogeologico.

Il progetto, unico nel settore a livello internazionale, prevede l'acquisizione a scala nazionale di dati prodotti da telerilevamento con tecnica interferometrica (Costantini et al., 2008, Ferretti et al., 2001) e la conseguente catalogazione nella banca dati del Geoportale Nazionale (GN).

Ad oggi, la tecnica interferometrica è stata applicata agli archivi di immagini SAR ERS e ENVISAT acquisite su tutto il territorio italiano, per una copertura di circa 300.000 kmq, dal 1992 al 2010, per un totale di circa 15.000 immagini. L'elaborazione dei dati relativi al periodo 1992-2000 è stata ultimata e sull'intero territorio italiano sono disponibili misure di spostamento del terreno con tecnica *persistent scatterer* come riportato in figura 1. Il completamento delle misure con dati inerenti al periodo 2003-2010 è previsto entro la fine del 2011.

Il progetto PST-A prevede l'aggiornamento della banca dati del GN attraverso la produzione di nuovi *dataset* relativi a porzioni di territorio nazionale, ottenuti mediante elaborazione interferometrica di dati radar satellitari COSMO-SkyMed. L'utilizzo della banda X ad alta risoluzione consente di ottenere:

- alta densità di punti PS con migliaia di punti per kmq nelle aree urbane (figura 2);
- misure degli spostamenti differenziali all'interno della stessa struttura;
- alta sensibilità agli spostamenti (breve lunghezza d'onda).

La costellazione di quattro satelliti COSMO-SkyMed offre potenzialità uniche:

- tempi di ritorno molto brevi (fino a 8 acquisizioni al mese per angolo di vista del sensore)
  - misura di movimenti veloci;
  - lunghe serie di acquisizione in brevi periodi;
- elevate capacità di acquisizione (fino a 2.000 immagini al giorno)
  - copertura di grandi aree
- localizzazione dei PS molto accurata.

Potenzialità così promettenti, applicabili dall'analisi di stabilità dei terreni alla subsidenza in aree urbane per finire con il monitoraggio delle infrastrutture, sono al momento in fase di valutazione su aree di studio sperimentali opportunamente selezionate per un totale di 6 frame 40x40 Km.

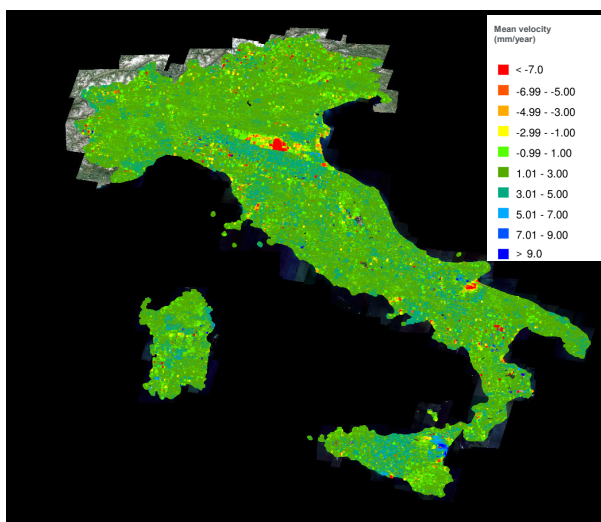


*Figura 1 – Misure di spostamento del terreno relative al periodo 1992-2000 ottenute con tecnica persistent scatterers interferometry applicata a dati ERS.*

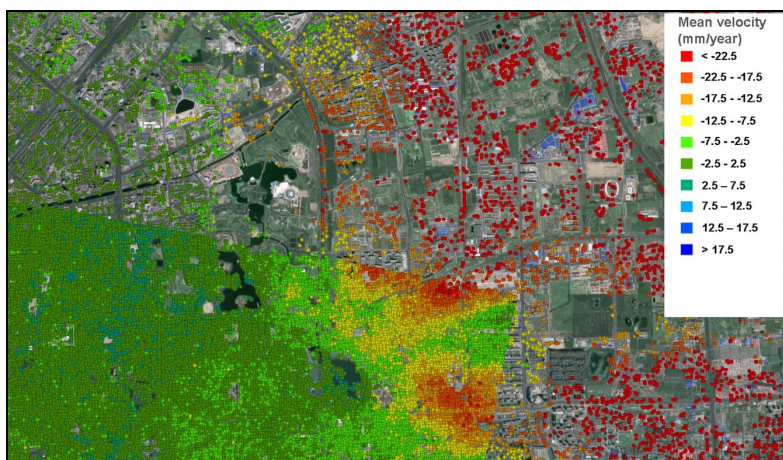


*Figura 2 – Confronto densità di punti PS ENVISAT/COSMO-SkyMed.*

### Riferimenti bibliografici

M. Costantini, S. Falco, F. Malvarosa, F. Minati (2008), "A new method for identification and analysis of persistent scatterers in series of SAR images," in Proc. of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), doi 10.1109/IGARSS

Ferretti A., C. Prati and F. Rocca F. (2001), "Permanent Scatterers in SAR Interferometry," IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 39, no. 1, 8-20.

## **Individuazione automatica di aree coltivate a riso da serie temporale MODIS: primi risultati in ambiente mediterraneo**

Alberto Crema (\*), Mirco Boschetti (\*), Giacinto Manfron (\*\*),  
Monica Pepe (\*), Mauro Musanti (\*)

(\*) Consiglio Nazionale delle Ricerche, IREA, Via Bassini 15, 20133 Milano, +390223699297, +390223699300  
alberto.crema@studenti.unimi.it, boschetti.m@irea.cnr.it, pepe.m@irea.cnr.it, musanti.m@irea.cnr.it

(\*\*) Università degli Studi di Milano, Dipartimento di Produzione Vegetale, Via Celoria 2, 20133 Milano  
ilgio1984@gmail.com

### **Riassunto**

Il riso è la coltura cerealicola più importante al mondo e rappresenta l'alimento base per oltre la metà della popolazione mondiale. Anche in Europa, e soprattutto in Italia, che detiene il primato delle produzioni, questa coltivazione ha una grande importanza sia economica che paesaggistico culturale. Per garantire questa produzione oggi si richiedono metodi sostenibili e razionali di analisi nonché sistemi di supporto alle decisioni per la gestione e pianificazione degli interventi. In quest'ottica la conoscenza della distribuzione delle aree coltivate e il loro monitoraggio divengono attività fondamentali per evidenziare eventuali criticità. Nella presente ricerca si è valutata l'estendibilità del metodo di mappatura delle aree a riso dei paesi asiatici proposto da Xiao et. al (2005) al bacino del mediterraneo. Tale metodo si basa sull'analisi congiunta di serie temporali di indici di vegetazione (EVI – NDVI - LSWI) derivati dal sensore MODIS. Lo studio ha previsto l'implementazione del metodo e la produzione di mappe per l'anno 2006. Si sono testate modifiche per migliorare l'algoritmo in zone temperate definendo opportuni adattamenti per le condizioni mediterranee. I risultati sono stati confrontati con mappe di uso del suolo, *Corine Land Cover*, ed il lavoro ha confermato la validità dell'approccio basato su analisi di serie temporali anche in ambiente mediterraneo. Lo studio ha permesso di evidenziare con quali coperture si hanno maggiori problemi di commissione e quali problemi debbano essere ulteriormente affrontati per un uso operativo del metodo nelle aree temperate. In prospettiva futura si intende indagare quale sia il limite di accuratezza del prodotto in relazione al *low resolution bias* e quali modifiche possano essere introdotte nell'algoritmo.

### **Abstract**

Rice is one of the most important crops all over the world and it represents the staple food for more than half of the human population. One fifth of the world's population, more than a billion people, depend on rice cultivation for their livelihoods. Asia, where about 90% of rice is grown, has more than 200 million rice farms (IRRI). Even in Europe rice is cultivated and Italy holds the primacy in the production representing an important farming activity. Rice is unique because it can grow in wet environments and on flooded fields that other crops cannot survive in. This feature is very important because the base of the study is to take advantage of the physic behavior of water for detecting flooding in the paddy rice fields. In this study we tested the approach given by Xiao et al.(2005) as it is, verifying its adaptability in a Mediterranean environment. By using MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) imagery of 2006 (46 of 8-days composite images) a number of vegetation indices (NDVI-EVI-LSWI) has been calculated for rice detection in the main rice district in the northern Italy between Lombardia and Piemonte. The accuracy at ground level of the derived rice map has been evaluated by using a European Land cover map Corine-land cover of 2006 (CLC06) and statistically calculated. After which by modifying the

methodology in order to adapt it to the temperate climatic conditions and Italian agronomic techniques, the accuracy of the newest derived maps has been analyzed and compared. The results of this study shows if the MODIS-based paddy rice mapping algorithm could potentially be applied in the Mediterranean environment as it is or if some calibration are needed.

## **Introduzione**

L'importanza del riso risiede nella caratteristica di questo cereale di poter crescere in ambienti umidi e tropicali altrimenti non adatti ad altri tipi di colture. In Asia, dove si produce il 90% di riso mondiale, per più di 200 milioni di agricoltori la coltivazione del riso è la principale attività economica e rappresenta la fonte primaria di cibo per circa 640 milioni di persone che usano questo cereale come principale o unico alimento (dati FAO 2009). A livello mondiale il riso è infatti l'alimento base per più della metà della popolazione. A fronte di questi dati questa attività agricola risulta essere molto rilevante anche in termini di impatto, in particolar modo per quanto riguarda il consumo di acqua e le emissioni di gas serra, contribuendo per circa il 10% del totale delle emissioni in atmosfera di metano (Danier van DerGon, 2000; Li et al., 2002; Neue&Boonjawat, 1998). Entrambi i fenomeni sono principalmente dovuti alla pratica della sommersione che viene effettuata nel ciclo culturale di questo cereale. La sommersione, periodo di totale copertura del suolo con acqua, risulta essere determinante e fondamentale anche all'interno del presente studio, in quanto è una caratteristica peculiare e unica di questa coltura e ci permette di distinguere il riso dalle altre coltivazioni. Tale caratteristica può essere indagata con dati ottici satellitari grazie al monitoraggio multitemporale; serie temporali di immagini ci consentono infatti di determinare, sulla base delle proprietà spettrali delle superfici, dove una determinata regione viene allagata e quando avviene la conseguente crescita della coltura.

Precedenti applicazioni (Xiao et al., 2005) hanno mostrato come i dati MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) possano essere idonei a tale scopo. Le immagini MODIS hanno caratteristiche spettrali che ci permettono di investigare la superficie tramite l'utilizzo di indici vegetazionali sensibili sia alla vegetazione (NDVI - EVI) che al contenuto di acqua (LSWI) (Xiao et al., 2002).

Si è voluto perciò testare la metodologia proposta da Xiao et al. 2005 valutando la sua estendibilità in altri contesti e quali modifiche fossero necessarie per un utilizzo in ambiente temperato mediterraneo che presenta necessariamente delle differenze rispetto alle zone del sud-est asiatico. Queste differenze sono da ricercarsi principalmente nel clima che influenza diverse tecniche culturali (cicli fenologici, rotazioni, tecniche di sommersione ecc.) e nella geografia del territorio agricolo: nel sud-est asiatico vengono comunemente sfruttate le aree collinari con terrazzamenti mentre in Europa vi è un esclusivo utilizzo di aree pianeggianti di pianura.

## **Materiali**

### **Il riso in Europa**

Le principali aree coltivate a riso in Europa corrispondono soprattutto con i paesi che si affacciano sul mar Mediterraneo. Le caratteristiche che contraddistinguono questa coltura sono la necessità di una grande disponibilità di acqua e di terreni pianeggianti che evidenziano come nell'area mediterranea questa coltura si sviluppi prevalentemente in prossimità delle foci dei fiumi (delta dell'Ebro -SP-, Camargue -FR-, etc.) o in zone fortemente irrigue (Pianura padana).

L'Italia risulta essere il principale produttore di riso con la maggiore superficie investita alla coltivazione di questo cereale. Il riso in Italia è coltivato principalmente in un distretto agricolo compreso tra il Piemonte e la Lombardia (Bocchi et al., 2003). La pianura padana infatti con i suoi terreni pianeggianti e i numerosi corsi d'acqua che l'attraversano è un luogo ideale per la coltivazione del riso la cui tradizione risale ormai a diverse centinaia di anni (Ente nazionale risi). Questa vasta area è a forte vocazione risicola tanto che la coltivazione del riso risulta essere l'attività agricola dominante se non quella esclusiva. A differenza dell'Asia, dove grazie al clima si riescono ad ottenere due cicli culturali dello stesso cereale, nel nord Italia si riesce ad ottenere



un solo raccolto che sfrutta i mesi primaverili estivi, che vanno da Aprile a Settembre/Ottobre, dove si verificano le condizioni meteorologiche idonee.

L'area di studio ricopre l'intera area risicola del Nord Italia tra le province di Milano, Pavia, Vercelli e Novara dove sono investiti a questa coltura circa 250 000 ha e viene prodotto il 90% del riso coltivato in Italia risultando il più grande distretto risicolo in Europa

### **Dati MODIS**

La mappatura delle aree a riso è stata condotta, seguendo l'approccio di Xiao et al. (2005), utilizzando i dati MODIS. I prodotti MODIS sono organizzati secondo una griglia basata su una proiezione sinusoidale (SIN), composta da riquadri che singolarmente coprono un'area approssimativamente di 1200 km per 1200 km. Tra i vari prodotti creati a partire dall'immagine di questo sensore, è stato usato il prodotto "8-days composite Surface Reflectance" (MOD09A1) che fornisce una stima del valore di riflettanza della superficie investigata alla risoluzione spaziale di 500 m. Questo prodotto atmosfericamente corretto è generato utilizzando il miglior dato di ogni singolo pixel registrato in un periodo di 8 giorni, scartando osservazioni con bassa qualità e mantenendo quelle con il minimo valore della banda del blu (band 3) (<http://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproducts/>). Il sensore MODIS ha 36 bande, sette delle quali utilizzate per lo studio della superficie terrestre e della vegetazione: blu (459-479 nm), verde (545-565 nm), rosso (620-670 nm), infrarosso vicino (NIR<sub>1</sub>, 841-875 nm; NIR<sub>2</sub>, 1230-1250 nm) e infrarosso lontano (SWIR<sub>1</sub>, 1628-1652 nm; SWIR<sub>2</sub>, 2105-2155 nm). Queste caratteristiche spettrali permettono lo sviluppo e l'elaborazione di diversi indici che forniscono informazioni sullo stato delle superfici: combinazioni del RED e NIR ci danno informazione su parametri bio-fisici della vegetazione mentre l'uso dello SWIR può fornire informazioni sul contenuto di acqua del suolo. Queste informazioni possono essere perciò usate per indagare al meglio il periodo di sommersione che rende distinguibile questa coltura dalle altre.

L'area test del nostro studio è compresa in un unico *tile* MODIS precisamente H18v04, le 46 immagini per l'intero anno 2006 sono state scaricate dal server *USGS EROS Data Center* (<http://edc.usgs.gov>) e processate.

### **Dati ancillari**

Per la validazione delle mappe di riso ottenute da immagini MODIS, sono state usati prodotti cartografici di uso del suolo. A livello Europeo è disponibile un progetto chiamato *Corine-land cover* che fornisce mappe di copertura del suolo dell'intero territorio. Il progetto nato specificamente per il rilevamento e il monitoraggio delle caratteristiche di copertura ed uso del territorio ha avuto una prima realizzazione nel 1990 (CLC90) basata sull'analisi di immagini Landsat (TM); nel 2000 (CLC00) e nel 2006 (CLC06) sono stati realizzati degli aggiornamenti sulla base dei cambiamenti, individuati per fotointerpretazione, accorsi tra i diversi anni. La scala nominale di questa mappa tematica è 1:100,000 con una unità tematica minima pari a 25 ettari. Il sistema di nomenclatura adottato si articola su 3 livelli ad approfondimento crescente per un totale di 44 classi al terzo livello, comprendenti anche la classe "risaie" (codice: 213). La CLC essendo realizzata su una proiezione *Lambert Azimuthal Equal Area* (GCS\_ETRS\_1989) è stata riproiettata per renderla confrontabile con la mappa di riso derivata da MODIS (proiezione sinusoidale) per effettuare la validazione finale e valutarne l'accuratezza.

### **Metodi**

La ricerca ha previsto due fasi. La prima fase ha visto l'implementazione e l'applicazione dell'algoritmo di Xiao et al. (2005) nella sua forma originaria per valutarne potenzialità e limiti. La seconda fase ha invece richiesto lo studio degli errori e la valutazione di correzioni idonee al contesto mediterraneo.

Il punto di partenza proposto dall'approccio di Xiao et al. (2005) è quello di individuare il periodo di totale sommersione del suolo che presenta caratteristiche fisiche diverse da qualsiasi altra

coltura. Per far ciò viene proposto di analizzare la dinamica temporale dell'indice LSWI (*Land Surface Water Index*, [1]) in quanto tale indice è abbastanza sensibile da individuare l'aumento dell'acqua superficiale dovuta alla sommersione durante il ciclo colturale (Xiao et al., 2002; Xiao et al., 2005) grazie all'utilizzo delle bande del NIR e dello SWIR:

$$LSWI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{swir}}{\rho_{nir} + \rho_{swir}} \quad [1]$$

Per analizzare la crescita della coltura vengono invece utilizzati l'NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*, [2]) e l'EVI (*Enhanced Vegetation Index*, [3]) utili per l'analisi della presenza di coperture vegetazione sul suolo essendo strettamente correlati a parametri della pianta quali la superficie fogliare (LAI). Anche se tradizionalmente molto usato per il monitoraggio del comparto vegetale, sia esso naturale o agricolo, l'NDVI presenta dei ben noti problemi di saturazione in condizioni di chiome dense ed è sensibile alla contaminazione atmosferica e alle caratteristiche del background/suolo (Huete et al, 2002; Xiao et al 2003). L'EVI è stato invece proposto per minimizzare gli effetti precedentemente menzionati e viene perciò usato nell'algoritmo congiuntamente all'NDVI.

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} \quad [2]$$

$$EVI = 2.5 \times \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + 6 \times \rho_{red} - 7.5 \times \rho_{blue} + 1} \quad [3]$$

### L'identificazione del riso

Le immagini MODIS, 46 immagini in totale per l'intero anno, sono state ritagliate in corrispondenza dell'area di studio producendo un sub-sample di 400x400 pixels corrispondenti ad un'area di 200 x 200 km.

Per ognuno dei ritagli sono stati calcolati e confrontati tra loro LSWI, NDVI e EVI.

Il metodo proposto da Xiao et al. (2005) si basa sull'assunto che un'area coltivata a riso possa essere identificata se si è in grado di individuare la sommersione della risaia a cui segue una rapida crescita della coltura. Il metodo perciò si basa sulla verifica di questi due criteri: sommersione e rapida crescita.

Secondo Xiao et al. (2005) il periodo di sommersione dei campi di riso può essere identificato usando l'assunzione  $LSWI > NDVI$ . Tale scelta si basa sull'ipotesi che una temporanea inversione dei valori degli indici, dove LSWI o approssima o supera i valori di EVI e NDVI, può indicare la sommersione o, come avviene in Asia come tecnica colturale, il trapianto del riso su terreni sommersi (Xiao et al., 2005).

Per rafforzare ulteriormente questa assunzione e per identificare ancor meglio le aree sommerse la condizione posta dall'algoritmo risulta essere:

$$LSWI + 0.05 \geq NDVI \text{ o } LSWI + 0.05 \geq EVI \quad [4]$$

La condizione descritta in [4] serve ad identificare quei pixel che vengono definiti come “*flooding or transplanting*”. Alle aree così individuate viene poi posto il secondo vincolo per determinare se effettivamente esse corrispondono a colture risicole, il quale assume che per avere una rapida crescita legata alla coltivazione del riso il valore dell'EVI debba crescere almeno della metà del suo valore massimo (all'interno di quel ciclo colturale) nei 40 giorni successivi (*cinque 8-days composite*) alla data in cui si è verificata la prima condizione posta dell'algoritmo (identificazione della sommersione). Questo perché questa coltura cresce rapidamente nello stadio vegetativo

raggiungendo il suo picco di LAI (Leaf area index) in circa 2 mesi e potendo così stabilire con certezza che si tratti di coltivazioni di riso.

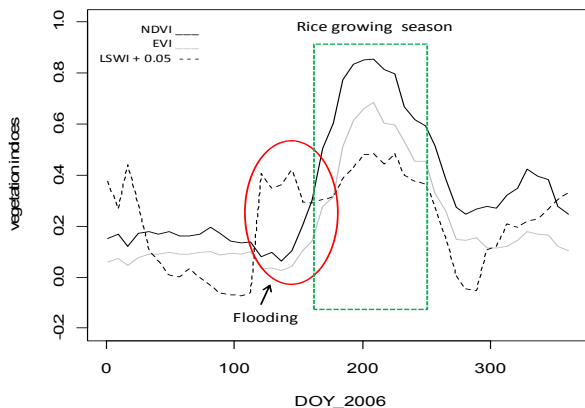


Figura 1 – Andamento degli indici in risaia in una arco di tempo annuale.

La spiegazione dell'approccio adottato può essere meglio compresa analizzando la figura 1. All'inizio della stagione l'LSWI presenta valori molto bassi in corrispondenza di un suolo nudo, che crescono in corrispondenza della sommersione e si mantengono alti durante lo sviluppo della pianta. NDVI ed EVI (figura 1), che sono legati alla presenza di vegetazione, hanno invece valori molto bassi in presenza di suolo nudo o d'acqua e tendono ad aumentare con lo sviluppo della coltura. Queste osservazioni consentono di individuare la coltivazione a riso e di distinguerla dalle altre colture e dalla vegetazione naturale.

### Definizione delle maschere

Xiao et al., (2005) indicano come nella fase di applicazione regionale dell'algoritmo si possano presentare errori di commissione con altri target (nuvole, neve, corpi idrici, foreste, aree umide, etc.). Per ridurre questo rischio Xiao et al. (2005) propongono di generare una serie di maschere da applicare al prodotto finale di rice detection.

### Nuvole

Il prodotto MOD09A1 include dei quality flags identificativi della nuvolosità che però non sono sufficienti a schermare tutti i pixel affetti da problemi di copertura nuvolosa; perciò è stata creata una prima maschera (una per ognuna delle 46 immagini) per quei pixel che presentassero valori nella banda del blu  $\geq 0.2$ . Questi pixel tendono ad avere valori di LSWI maggiori degli indici vegetazionali rischiando di creare errori di falsa identificazione di campi di riso.

### Neve

Problema simile può essere generato da quei pixel che presentano una copertura nevosa e che hanno valori di riflettanza nel visibile tali da poter falsare il calcolo degli indici vegetazionali. Per ovviare all'errore sono state generate maschere di copertura nuvolose utilizzando l'indice NDSI (Normalized Difference Snow Index) (Hall et al, 1995, 2002):

$$NDSI = \frac{\rho_{green} - \rho_{swir}}{\rho_{green} + \rho_{swir}} \quad [5]$$

L'indice è stato calcolato per ognuna delle 46 immagini dalle quali sono stati mascherati quei pixel con valori di  $\text{NDSI} > 0.4$  e  $\text{NIR} > 0.11$ .

### Corpi idrici

C'è poi la necessità di discriminare quelli che sono i corsi d'acqua permanenti dalle colture di riso in quanto questi target passano spesso il primo criterio dell'algoritmo (vedi [1]).

E' stato perciò implementato il metodo proposto da Xiao et al (2005) che prevede una sogliatura di quei pixel aventi un determinato profilo nella dinamica temporale degli indici di  $\text{LSWI}$  e  $\text{NDVI}$ . È stato considerato come corpo idrico permanente qualsiasi pixel che soddisfi per almeno dieci volte nel corso dell'anno (i.e. dieci delle *8-days composite images*) i criteri di  $\text{NDVI} > 0.10$  e  $\text{NDVI} < \text{LSWI}$ .

### Vegetazione naturale

Lo stesso principio vale per le altre due maschere generate nell'algoritmo, quella per le aree di vegetazione sempreverde arborea e cespugliosa. Anche in questo caso l'andamento dell'indice di  $\text{NDVI}$  nella stagione è diverso da quello di una coltura, che ha valori elevati solo per un periodo di tempo limitato solitamente coincidente col periodo di preraccolta, ma al contrario presenta valori elevati e tendenzialmente costanti durante tutto l'anno. Le aree naturali con queste caratteristiche sono state identificate per quei pixel che presentano un valore di  $\text{NDVI} > 0.7$  per almeno venti immagini durante l'anno e sono perciò state etichettate come vegetazione sempreverde. Per la vegetazione cespugliosa invece è stato utilizzata la condizione che l'indice  $\text{LSWI}$  non fosse mai inferiore a  $< 0.15$ .

Questo lavoro ci ha permesso di escludere tutti questi effetti di disturbo e di procedere all'analisi delle 46 immagini andando a generare una prima mappa delle aree sommerse. È stato derivato un prodotto comprendente quei pixel che soddisfacevano l'ipotesi dell'inversione temporanea degli indici durante il periodo della sommersione ( $\text{LSWI} + 0.05 \geq \text{NDVI}$  o  $\text{LSWI} + 0.05 \geq \text{EVI}$ ). Per ogni pixel identificato come "ipotetico sommerso" di ogni immagine ne è stata poi esaminata la serie temporale dell'EVI all'interno dell'intero anno. I pixel di riso sono perciò identificati quando l'EVI raggiunge il 50% del valore massimo dello stesso indice entro un periodo di 40 giorni dopo la sommersione (cinque *8-days composites images*).

La flow chart di figura 2 per riassumere i passi dell'algoritmo comprende: la generazione degli indici, la creazione delle maschere, l'identificazione dei criteri di sommersione e di crescita rapida.

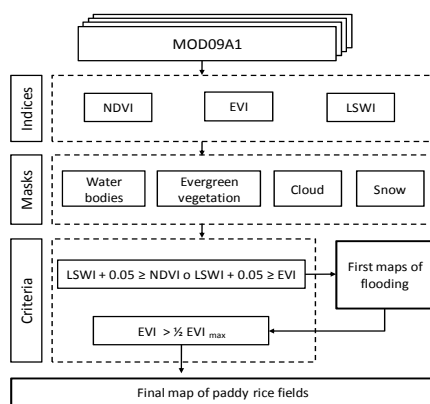


Figura 2 – Flow chart descrittivo dell'intero metodo.

### Variazioni metodologiche

Oltre all'applicazione del metodo di Xiao et al. (2005) si è proceduto a definire e testare delle ulteriori elaborazioni per ridurre gli eventuali errori di commissione prodotti dall'algoritmo.

Dalla prima mappa così ottenuta sono stati creati ulteriori prodotti seguendo lo schema proposto in figura 3, che consiste nell'applicazione di una maschera temporale (*Temporal Mask*) volta alla riduzione degli errori in momenti dell'anno dove il riso non viene coltivato e di due maschere provenienti da dati esterni (*Elevation St.Dev.* e *SWBD*). L'*Elevation St.Dev.* rappresenta una misura della variabilità altimetrica per ogni cella MODIS. Questo parametro serve a differenziare zone di pianura da aree collinari e montane. L'*SWBD* è invece una *water mask* derivata da un prodotto MODIS a miglior risoluzione spaziale (250m).

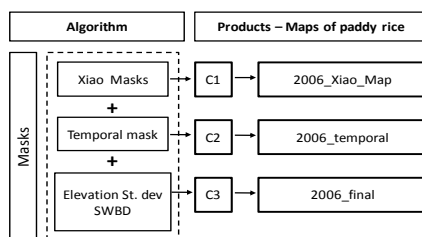


Figura 3 – Schema dei cambiamenti metodologici inseriti.

Di seguito viene descritta la flow chart dei cambiamenti metodologici:

- **C1:** è la mappa delle aree coperte dalla coltura risicola derivante dalla metodologia mostrata in Figura 2 (metodo originale di Xiao et al., 2005).
- **C2:** questa mappa è stata realizzata ponendo dei vincoli temporali oltre alle maschere già utilizzate. Come accennato precedentemente le diverse stagioni che caratterizzano ambienti come la Cina e la zone mediterranee portano alla conseguenza di avere in Europa un solo raccolto annuale invece di due come può avvenire in Asia. Questo aspetto ci ha permesso di porre delle condizioni in cui vengano esclusi quei pixels positivi alla detection presenti in date anteriori ad Aprile (periodo di semina) e posteriori a fine Giugno (periodo in cui la risaia è sommersa ma coperta dalla coltura).
- **C3:** in questo prodotto oltre alla precedente modifica, un'ulteriore miglioria è stata introdotta considerando le condizioni del territorio in cui si sviluppa la coltura, che comprendono zone pianeggianti di pianura non superiori ad una certa altimetria. Sfruttando i dati di *Digital Terrain Model* (DTM) derivati dal SRMT (<http://www2.jpl.nasa.gov/srmt/>) abbiamo calcolato la deviazione standard delle altezze in una finestra di 500 m e considerato come pianura valori di  $st.dev < 15$ . Anche nel metodo originale era inserito un criterio per cui venivano escluse dalla detection quelle zone ad una altitudine superiore a 2000m e con una pendenza maggiore 2°. Si era deciso di testare la bontà dell'algoritmo non inserendo questo criterio per non restringere troppo l'area di indagine e di introdurlo come ultima istanza per valutare al meglio dove l'algoritmo andava ad etichettare zone risicole come falsi positivi. Dopodiché per ottenere una maggiore schermatura dei corpi d'acqua, è stata utilizzata una *water mask* sfruttando un prodotto MODIS (*SWBD-SRTM Water Body Data*) alla risoluzione spaziale di 250m (<http://www.glc.fg.umd.edu/data/watermask/>). Questa operazione è stata effettuata per evitare che falsi positivi cadessero in zone adiacenti a corsi d'acqua che presentano una variabilità spaziale dovuta alla portata di acqua difficilmente riscontrabile alla risoluzione di 500m.

### Risultati

I risultati esposti in Figura 4 mostrano la distribuzione spaziale delle aree coltivate a riso derivati dall'analisi di una serie temporale di immagini MODIS per l'anno 2006.

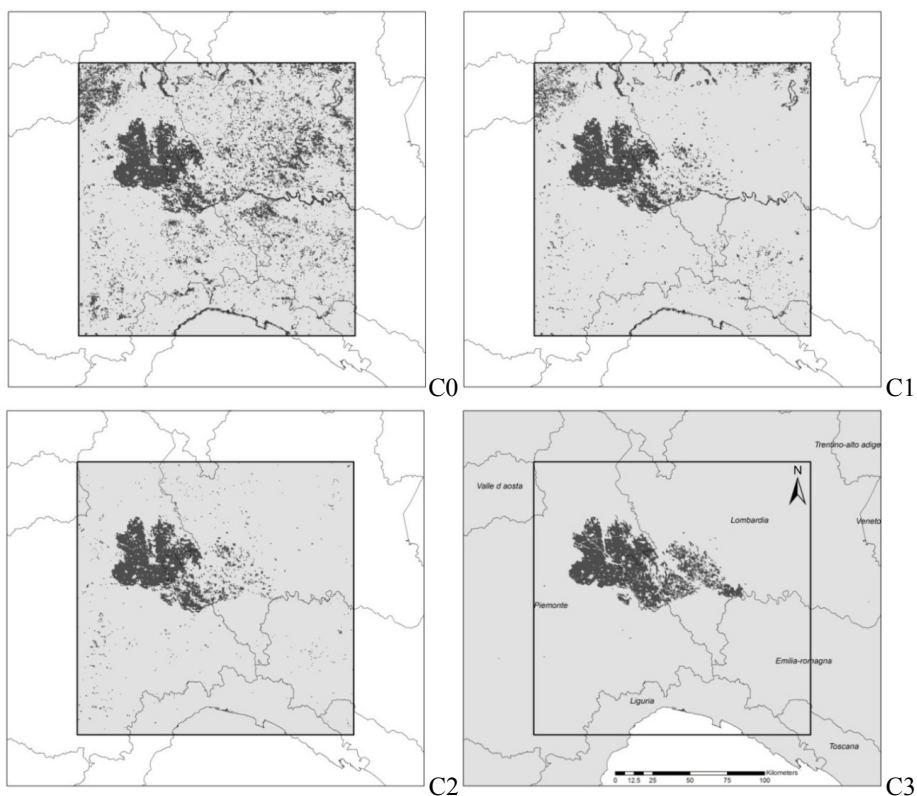


Figura 4 – Distribuzione spaziale delle aree coltivate a riso derivate da immagini MODIS a diverso livello di accuratezza: C0 mappa risultante dal metodo di Xiao senza l'uso di maschere, C1 mappa risultante dal metodo di Xiao con maschere, C2 mappa di Xiao con maschere più maschera temporale e C3 mappa con maschere di Xiao, maschera temporale e maschere di elevation e SWBD.

Le mappe in figura 4 mostrano come il metodo originale presenti forte errori di sovrastima quando applicato in ambiente mediterraneo (fig 4 C1); l'utilizzo di criteri aggiuntivi consente un progressiva delineazione della reale zona risicola compresa tra il Piemonte e la Lombardia e un conseguente graduale miglioramento dell'accuratezza della mappa finale. Errori ed accuratezza delle differenti mappe sono riportati in figura 5.

| Classificazioni | Omission | Commission | Overl Accuracy | User accacy |
|-----------------|----------|------------|----------------|-------------|
| C0              | 31%      | 87%        | 63%            | 13%         |
| C1              | 32%      | 71%        | 85%            | 29%         |
| C2              | 33%      | 48%        | 93%            | 52%         |
| C3              | 33%      | 26%        | 96%            | 74%         |

Figura 5 – Valori di accuratezza delle diverse mappe.

Di seguito si riportano commenti sulle mappe di figura 4

- **C0:** mappa derivata dall'elaborazione della serie temporale annuale di immagini MODIS utilizzando i criteri posti dall'algoritmo (vd. **Errore. L'origine riferimento non è stata**



**trovata.**) senza l'applicazione delle maschere. Dopo aver selezionati quei pixel identificati come "sommersi" ne calcola il progressivo aumento dell'indice EVI nei 40 giorni seguenti senza tenere conto dei vincoli delle maschere. Né deriva una mappa dove si intuisce quanto ampia possa essere l'influenza di fattori esterni che possono alterare l'accuratezza della classificazione. Vengono ampiamente osservati falsi positivi sia in zone alpine che di pianura, nonché costiere e adiacenti se non talvolta corrispondenti a corsi e specchi d'acqua. L'errore di commissione è molto alto (87%) e l'accuratezza è certamente bassa (13%) a causa del fatto che il primo criterio comprende nella detection tutti quei pixels con valori elevati di LSWI che scaturiscono dalla presenza di acqua superficiale.

- **C1:** la maschere suggerite nell'algoritmo originale sono state in questo caso applicate e considerate prima della classificazione, questo prodotto è quello proposto dal metodo di Xiao et al. 2005. L'esclusione dei pixels affetti da problemi di nuvolosità ha portato ad un ridimensionamento dell'errore, anche grazie all'esclusione di quelle aree definite come a vegetazione sempreverde e all'applicazione delle maschere di acqua e neve. Ne consegue un diminuzione dell'errore anche se ancora molto presente, soprattutto nelle zone costiere e limitrofe a corpi d'acqua.

Così come proposto il metodo evidenzia lacune nella discriminazione delle risaie dal resto del territorio. Gli errori si distribuiscono per la maggior parte tra aree agricole e zone di vegetazione sempreverde con un errore di commissione pari al 71%. Valori di accuratezza del 29 % sono in linea con i valori di *spatial agreement* ottenuti nello studio di Xiao nelle zone del sud della Cina e cioè a maggior eterogeneità del territorio. Queste considerazioni ci hanno portato all'introduzione di modifiche per vedere se potevano generare miglioramenti nella classificazione.

- **C2:** l'analisi degli errori della mappa prodotta a livello superiore (C1) ha indicato come sia necessario introdurre ulteriori criteri per una più accurata detection delle aree a riso. Si è perciò applicato un vincolo temporale che considera come validi per la detection di sommersione solo i casi che avvengono in una finestra di tempo che va da Aprile a fine Giugno. Tale scelta nasce da diverse considerazioni. La prima è che le tecniche colturali nazionali dimostrano come il periodo di semina del riso sia concentrato nel mese di Aprile e limitatamente all'inizio del mese di Maggio. In secondo luogo l'analisi degli errori in pianura ha evidenziato come, a differenza delle aree a riso, molti dei falsi positivi fossero caratterizzati dall'individuazione della sommersione in una singola data durante l'anno. Al contrario le aree coltivate a riso sono caratterizzate da un periodo di sommersione riconoscibile in più composit MODIS consecutivi. Queste condizioni possono essere interpretate come eventi legati a pratiche di irrigazione che può coprire il suolo facendo alzare i valori di LSWI a cui segue poi un innalzamento dei valori degli indici vegetazionali conseguentemente alla crescita della coltura. In pianura padana l'irrigazione a scorrimento o a sommersione è infatti ancora molto presente. Si è perciò provveduto ad eliminare quei pixel per i quali era stato identificato un solo evento di sommersione. Tale soglia è stata quindi posta per eliminare quelle colture non a riso e che cadevano erroneamente nella detection in un periodo che non poteva avere le condizioni di risaia in campo.

Come si vede nella mappa C2 in Figura 4 gli elementi sopra accennati spariscono facendo aumentare l'accuratezza in modo consistente (52%) ma facendo soprattutto diminuire significativamente gli errori di commissione al 48%.

- **C3:** come descritto nei metodi si è voluto lasciare alla fine l'inserimento del criterio di esclusione di quelle zone interessate da una certa pendenza del territorio (corrispondenti a zone collinari o montane). Il lavoro di analisi dei falsi positivi ci ha portato alla fine a restringere il campo di azione dell'algoritmo a quelle zone tipicamente agricole di pianura. Inoltre l'utilizzo di una nuova maschera che schermasse i corpi idrici è stata decisa a fronte del fatto che nella mappa fossero ancora presenti zone lacustri o corrispondenti a fiumi.

Dalla mappa C3 di figura 4 si nota subito come scompaiano di molto gli errori che cadono al di fuori dell'area risicola d'interesse. Gli errori di commissione si abbassano ad un 26% con un'accuratezza del 74%, valore doppio rispetto allo step C1.

### Analisi dell'errore

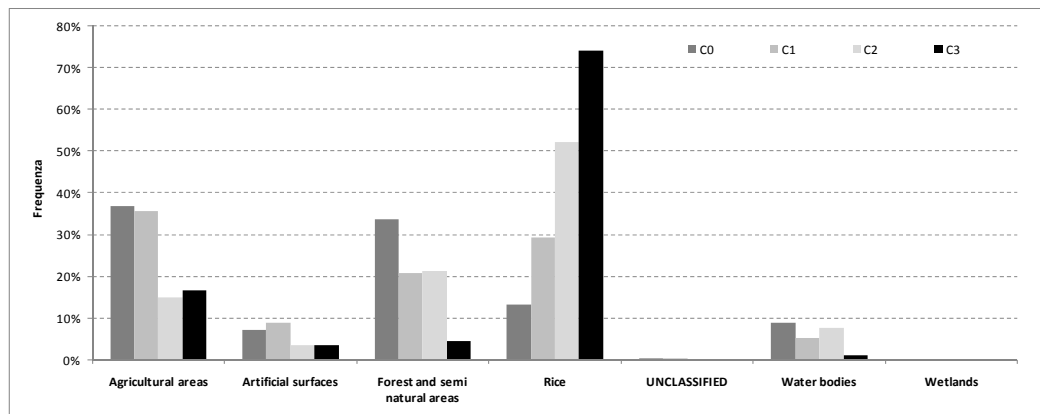


Figura 6 – Frequenza dell'errore per classi di appartenenza della CLC 2006.

La figura 6 mostra l'analisi della frequenza dell'errore per varie classi di appartenenza, gli istogrammi ci mostrano come la maschera temporale usata in C2 apporti un grosso contributo soprattutto nel ridurre l'errore di commissione relativo alle aree agricole mentre non abbia effetto sulle zone coperte da vegetazione permanente. La mappa C3 invece escludendo le zone non pianeggianti, riesce a eliminare terreni coperti dalla vegetazione spontanea e produce, come previsto, una diminuzione degli errori legati ai corpi idrici maggiore di tutte le altre mappe.

La stima delle aree coperte da colture risicole soffre di un errore di omissione circa del 30% che non varia in base alla diverse mappe (vedi figura 5). L'approccio è buono ma probabilmente il limite di accuratezza si attesta a questo livello come conseguenza del *low resolution bias* (Boschetti et al., 2004). Lo studio ha invece evidenziato come gli errori di commissione possano invece essere ridotti di molto utilizzando vincoli e criteri idonee. Tale osservazione dimostra l'importanza della schermatura di zone non idonee alle coltivazioni con l'uso di informazioni esterne. Grazie a queste correzioni si è passati da un iniziale 71% di errore ad un valore di 26%. Tali correzioni hanno però il limite di restringere di molto il campo d'azione, sia spaziale che temporale, dell'algoritmo e quindi di ridurre il suo grado di generalizzazione in altri contesti.

### Conclusioni

In questo studio è stata analizzata e valutata l'estendibilità, in ambiente mediterraneo, del metodo proposto da Xiao et al. (2005) di identificazione automatica da immagini MODIS di aree coltivate a riso. Il metodo è stata poi adattato introducendo vincoli idonei alle condizioni temperate in accordo con le diverse tecniche colturali e le esigenze climatiche. L'accuratezza del prodotto originale e di quello ottenuto con modificazioni sono state testate comparando i risultati con la cartografia europea *Corine Land Cover* (CLC06).

Le coltivazioni a riso comprese tra il Piemonte e la Lombardia sono state mappate con successo dimostrando la validità dell'approccio e l'abilità di detection dell'algoritmo proposto da Xiao et al. (2005). La caratteristica della sommersione temporanea delle colture risicole rende effettivamente distinguibile questa coltura dalle altre grazie alle caratteristiche fisiche di questo mezzo. Ciò nonostante è emerso come numerosi fattori possano influenzare negativamente la mappatura e l'accuratezza del prodotto finale ponendo dei dubbi sull'esportabilità dell'approccio tal quale in

ambienti eterogenei. La necessità di utilizzare determinate maschere è stata dimostrata dal miglioramento netto dell'accuratezza e dalla progressiva diminuzione dell'errore. L'adattamento della metodologia ha fatto sì che la diminuzione degli errori di commissione calasse notevolmente, dal 71% di della mappa C1 al 26% della mappa C3, permettendoci di capire quali sono le criticità e ipotizzando quali siano le condizioni che inducevano all'errore l'algoritmo. In conclusione l'utilizzo di tali maschere e di soglie applicate agli indici condizionano la potenzialità del metodo che sviluppato per le zone della Cina risulta di difficile applicazione a zone climatiche diverse a cause del notevole errore di commissione. I risultati mostrano la necessità di testare il metodo in altre zone temperate per giudicare il suo limite reale e per verificare la robustezza dell'algoritmo il cui scopo finale è quello di essere applicato a livello globale.

## Bibliografia

- Bocchi S., Confalonieri R., Genovese G., Mariani L., Martin S., Orlandi S., 2003. "An integrated rice yield forecasting system in Europe". *CD of proceedings of the 3rd International Temperate Rice Conference*. 10-13 March, Punta del Este – Uruguay.
- Boschetti M., Flasse S. P., & Brivio P. A. (2004). "Analysis of the conflict between omission and commission in low spatial resolution dichotomic thematic products: The Pareto Boundary". *Remote Sensing of Environment*, 91(3-4), 280-292. doi:10.1016/j.rse.2004.02.015
- Dailing Peng, Alfredo R. Heute, Jingfeng Huang, Fuming Wang, Huansheng Sun (2011), "Detection and estimation of mixed paddy rice cropping patterns with MODIS data", *Int. journal of applied earthobservation and geoinformation*, 13 (2011) 13-23.
- Denier Van der Gon, H., 2000. Changes in CH<sub>4</sub> emission from rice field from 1960s to 1990s: "Impact of modern rive technology". *Global Biochemical Cycles*, 1, 61-72.
- Hall Dorothy K., George A. Riggs, and Vincent V. Salomonson. 1995. "Development of Methods for Mapping Global Snow Cover Using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)". *Remote Sensing of the Environment* 54(2):127-140.
- Hall Dorothy K., George A. Riggs, Vincent V. Salomonson, Nicolo E. Di Girolamo, Klaus J. Bayrd, 2002, "MODIS snow cover products", *Remote Sensing of Environment*, 83, 181-194.
- Heute A. R., Didan K., Miura T., Rodriguez E. P., Gao X., Ferreira L.G., 2002. "Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices". *Rem. Sens. Of Env.* 83 (1-2), 195-213.
- <http://edc.usgs.gov>
- <http://www.glcfc.umd.edu/data/watermask/>
- <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>
- Li, C. S., Qiu, J. J., Frolking, S., Xiao, X. M., Salas, W., Moore, B., et al.(2002). "Reduced methane emissions from large-scale changes in watermanagement of China's rice paddies during 1980–2000". *GeophysicalResearch Letters*, 29 (art. no. -1972).
- Neue, H., & Boonjawat, J. (1998), "Methane emissions from rice fields". In J. Galloway, & J. Melillo (Eds.), *Asian change in the context of global climate change* (pp. 187 – 209). Cambridge: Cambridge University Press.
- NSIDC, *National Snow and Ice Data Center*.
- Xiao X., Boles S., Frolking S., Salas W., Berrien M., Li C., He L., Zhao R. 2002. "Observation of flooding and rice transplanting of paddy rice fields at the site to landscape scales of Chine using vegetation sensors dat"a. *Int. J. Remore Sensing*, 23 (15), 3009-3022
- Xiao X., Liu, J., Zhuang D. F., Frolking S., Boles S., Xu B., 2003, "Uncertainties in estimates of cropland area in China: A comparison between an AVHRR-derived dataset and a Landsat TM derived dataset". *Global and Planetary Change*, 37: 297 – 306.
- Xiao X., Boles S., Liu J., Zhuang D., Frolking S., Li C., Salas W., Berrien M., 2005, Mapping paddy rice agriculture in southern china using multi-temporal MODIS images. *Rem. Sen. Env.*, 95, 480-492.



## Test sperimentale di strumenti Volunteered Geographic Information per l'aggiornamento di informazioni territoriali

Laura Criscuolo, Paola Carrara, Monica Pepe, Anna Rampini

Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente IREA-CNR, 15 Via Bassini, 20133 Milano, Italy  
Tel. +39-02-23699 550, Fax +39 0223699300, e-mail: { criscuolo.l, carrara.p, pepe.m, rampini.a}@irea.cnr.it

### Riassunto

La prospettiva del coinvolgimento dei fruitori dell'informazione territoriale nella produzione dell'informazione stessa, ha stimolato l'Istituto per il Rilevamento Elettromagnetico dell'Ambiente ad avviare una ricerca sugli strumenti di Volunteered Geographic Information e ad intraprendere una sperimentazione avvalendosi delle tecnologie VGI attualmente disponibili.

L'articolo illustra le caratteristiche di tali strumenti e le problematiche connesse alle loro realizzazioni, ipotizzandone una applicazione ad un caso studio di interesse per l'Istituto.

### Abstract

The prospect of involving users in the production of spatial information, encouraged the Institute for Electromagnetic Sensing of the Environment to launch a study on Volunteered Geographic Information tools and to undertake a trial using currently available VGIs technologies. This paper discusses the characteristics of these instruments and issues related to their achievements, assuming an application to a case study of interest to the Institute.

### Introduzione

Le recenti tendenze del mondo GIS sono rivolte verso l'apertura dei dataset spaziali sul Web alle community di utenti e all'inclusione di meccanismi e strumenti propri del Web 2.0, permettendo al visitatore del Web di assumere un doppio ruolo di fruitore e, allo stesso tempo, di produttore di informazione geografica da condividere con la *community*. All'interno di simili progetti di geografia partecipativa, assumono la connotazione di *Volunteered Geographic Information* (VGI) quelle tecnologie, strumenti e applicazioni, che fanno in modo che siano volontari, attraverso strumenti in rete, a provvedere di dati i dataset geografici resi pubblici. Il termine *Volunteered Geographic Information* si deve a Goodchild (2007), che definì con questa espressione quei contenuti geospaziali generati dagli utenti, creati per soddisfare una molteplicità di bisogni nei campi dell'industria, della pubblica amministrazione, e delle comunità dei social network. In questo quadro è stato coniato il neologismo *produser*, che riunisce in un unico termine il ruolo di produttore e di utilizzatore dell'informazione geografica (Bruns, 2006).

Numerosi sono gli esempi storici di progetti di *Geographic Information* tramite partecipazione pubblica, nei quali singoli individui hanno volontariamente contribuito, con dati e con *feedback*, alla composizione di applicazioni *web-based*, impostate da professionisti o da comunità di interesse (Craig, 2002; Tang et al., 2005; Sieber, 2006).

Ciò che differenzia gli attuali progetti di informazione partecipativa, pienamente inseriti nella filosofia del Web 2.0, da queste iniziative pionieristiche è stato chiarito da Alex Bruns (2006) con la definizione di quattro caratteristiche fondamentali:

- *Community based*: l'impiego collaborativo di ampie comunità di contributori su un progetto condiviso;
- *Fluid roles*: un movimento fluido dei ruoli dei *produsers* all'interno della comunità;

- *Unfinished artefacts*: un perenne stato di “non finito” dei contenuti volontari, costantemente sovrascritti e modificati;
- *Common property-individual merit*: approccio più permissivo ai diritti legali e morali.

Allo stato attuale, la maggior parte delle realizzazioni e dei progetti di VGI sfruttano il concetto di informazione volontaria applicandolo quasi esclusivamente a dati puntuali, fotografie o commenti georiferiti, spesso privi di interesse scientifico, e/o poveri di attributi e di documentazione. Il potenziale del VGI è tuttavia assai più alto e deve ancora esplodere in tutta la sua portata, ma si vedono già i primi annunci di ciò che potrebbe rivoluzionare non solo il ruolo dei soggetti tradizionalmente addetti allo studio del territorio, ma anche il mercato dei prodotti e dei servizi legati alla cartografia (Fischer, 2009).

Vedendo aprirsi possibilità di proficuo sviluppo in alcuni dei settori di cui IREA si occupa, e volendo l'Istituto inserirsi in maniera costruttiva nel processo di cambiamento in corso all'interno del mondo del *web-mapping*, è stato intrapreso un percorso di studio mirato all'utilizzo della geografia partecipativa, ed in particolare degli strumenti VGI.

La sezione seguente introduce prima l'ambito di interesse di IREA rispetto al VGI quindi discute una delle questioni più limitanti nelle applicazioni reali e discussa in letteratura, ovvero le caratteristiche di affidabilità a qualità dei dati raccolti. Segue quindi la presentazione del contesto sperimentale scelto su questa base, nonché i risultati dello stesso e le conclusioni che se ne possono trarre.

## 1. Il VGI nell'infrastruttura di dati spaziali di IREA

IREA ha un'infrastruttura di dati spaziali che derivano da osservazioni remote (immagini da telerilevamento) e in situ (osservazioni da campagna) (Criscuolo et al., 2011). La prospettiva di aggiornare più rapidamente i dati dell'infrastruttura, unita all'opportunità di convogliare nuove informazioni spaziali e di comunicarle con chiarezza ad un pubblico più ampio, stimola la ricerca sul tema della informazione geografica volontaria. Numerose sarebbero infatti le potenziali applicazioni di tali strumenti alle attività di ricerca dell'Istituto. Per portare solo un esempio, sarebbe possibile utilizzare strumenti VGI in affiancamento alle procedure di validazione dei dati telerilevati; le informazioni derivate da osservazioni remote potrebbero così essere avvalorate dai rilevamenti sul campo, effettuati con maggiore frequenza, ad opera di contribuenti volontari.

Per poter verificare i vantaggi e le problematiche del VGI rispetto al contesto dell'infrastruttura esistente, sono stati analizzati lo stato dell'arte, le attuali possibilità tecnologiche e i progetti di VGI in corso, traendone suggerimenti, buone pratiche ed esempi per futuri sviluppi all'interno dell'Istituto.

Il meccanismo volontario che l'Istituto è interessato a originare, si differenzerebbe dal generico e più diffuso fenomeno di mapping collaborativo e ne prenderebbe le distanze soprattutto sotto l'aspetto qualitativo. Infatti, rispetto alle più diffuse implementazioni di VGI (come ad esempio le celebri Google Earth, Google Maps, o le gallerie di fotografie georiferite come Flickr o Panoramio), IREA si preoccupa di gestire un flusso di dati di valore scientifico e documentativo, corrispondenti a criteri di qualità e precisione, arricchiti di metadati, aventi formati relativamente poco diffusi, organizzandoli con uno schema rigoroso e orientato all'interoperabilità.

All'interno delle tematiche affrontate dai ricercatori dell'Istituto, molte sono le potenziali applicazioni che potrebbero beneficiare di un sistema VGI. A questo scopo si è cercato di definire le funzionalità che sarebbero necessarie o apprezzabili nelle applicazioni VGI, e più in generale a carattere collaborativo, per IREA.

## 2. Funzionalità per le applicazioni collaborative in IREA

Si è proceduto a definire i requisiti desiderabili, relativi a tre principali aspetti: la composizione del documento digitale “mappa”, le capacità di analisi dinamica dello stesso, gli strumenti disponibili a favore della partecipazione e dell'interoperabilità. Le funzionalità significative che dovrebbero essere incluse in una applicazione sono di seguito elencate.



Funzionalità per la composizione della mappa:

- Possibilità di inserimento (*upload*) di shapefile;
- Possibilità di inserimento (*upload*) di Tiff;
- Possibilità di inserimento (*upload*) di fogli di calcolo e tabelle in formati xls e/o csv;
- Possibilità di connessione a servizi OGC WMS (*Open Geospatial Consortium Web Map Service*);
- Possibilità di inserimento di formati fotografici georiferiti o link a web album;
- Possibilità di inserimento di punti gps;
- Scelta e selezione di mappe base tramite TMS (*Tile Map Service*).

Funzionalità per l'analisi della mappa:

- Accesso e collaborazione di più utenti su unico progetto;
- Lettura degli attributi tabellari;
- Modifica degli attributi tabellari;
- Creazione di grafici e timeline;

Ulteriori funzionalità di tipo partecipativo:

- Disponibilità di spazi comuni per commenti e *feedback*;
- Definizione e gestione di permessi diversificati di lettura e scrittura dei dati;
- Facilità per la pubblicazione della mappa all'interno di una pagina web (*embed*) e per il suo aggiornamento automatico;
- Possibilità di effettuare il download dei dati o di parte di essi.

Un ulteriore requisito ricercato è l'immediatezza e la semplicità dell'interfaccia per la gestione dei dati e per la consultazione della mappa. Una eccessiva complessità d'uso degli strumenti predisposti, scoraggerebbe infatti gli operatori volontari privi di competenze specialistiche, rendendo vano lo sforzo preparatorio e aumenterebbe la probabilità di incorrere in errori.

In considerazione di tali requisiti si è condotta una analisi delle soluzioni proposte dal mercato, limitandosi in particolare alle sole soluzioni con licenza gratuita. La ricerca ha evidenziato come le numerose, e talvolta celebri, applicazioni di VGI disponibili su web, siano collocabili in due principali categorie.

La prima comprende applicazioni di *web mapping* in cui l'utente può effettuare un *mashup* inserendo informazioni puntuali su una mappa preimpostata tramite *markers*. Esempi di questo tipo sono Wayfaring (<http://www.wayfaring.com/>), Crowdmap (<http://crowdmap.com/>), Map Builder (<http://www.mapbuilder.net/>).

La seconda categoria raccoglie prodotti che consentono la condivisione di foto ed album fotografici ai quali associare una o più località geografiche (*geotagging*). Appartengono a questo genere i celebri Flickr (<http://www.flickr.com/>), Picasaweb (<https://picasaweb.google.com>) e numerosi altri. Offrono invece una maggiore adattabilità e possibilità di lavoro BatchGeo (<http://batchgeo.com/>), Tagzania (<http://www.tagzania.com/>), TargetMap (<http://www.targetmap.com/>), che sono predisposti per accogliere un maggior numero di formati in input e per consentire all'utente una certa possibilità di editing grafico sulla mappa risultante. Le limitazioni sono comunque significative, spesso legate alle tabelle e alle *features* geografiche, e fanno sì che anche tali soluzioni non siano adeguate ad ospitare le componenti dell'infrastruttura IREA né a garantirne utili strumenti di aggiornamento.

Sono stati dunque esaminati strumenti di tipo diverso, che si collocano a metà strada tra le applicazioni di *web mapping* e quelle WebGIS.

Tra questi GeoCommons (<http://geocommons.com/>) si è rivelato un utile strumento che permette ad utenti anche poco esperti di GIS e cartografia di costruire mappe attraverso il *mashup* di dati propri e di dati condivisi in un grande archivio contenitore sul Web; GeoCommons è distribuito nelle sue funzionalità di base con licenza *Creative Commons*. Benché lo styling e l'editing consentiti sui dati non siano completamente paragonabili a quelli di un software propriamente GIS, GeoCommons ha il pregio di riuscire ad accogliere formati shp (*shapefile*), csv (*comma-separated value*), kml

(*keyhole markup language*), di aiutare l'utente nello stabilire relazioni spaziali tra i dati, e di offrire on line la mappa generata sia attraverso uno *script*, sia come pagina web, sia come *iframe*, completa di legenda, selezione di più *layers*, scalebar. Il proprietario della mappa, così come ciascun utente registrato, può effettuare il download dei file del dataset e dell'intera mappa in formato kml.

In questo modo i generici utenti web, provvisti del link alla pagina contenente la mappa, possono visualizzare ed esplorare il documento mappa, mentre ciascun utente registrato GeoCommons può importare la mappa nel proprio profilo e modificare grafica e contenuti sulla propria copia, collaborando nella sua costruzione ed aggiornamento. Non è tuttavia possibile la compartecipazione di più utenti nella creazione e nell'aggiornamento della stessa mappa. In questa possibilità di condivisione risiede la potenzialità di GeoCommons di essere impiegato come strumento VGI; tuttavia la mancanza di compartecipazione nella scrittura di un unico documento resta un punto debole dell'applicazione e si allontana dall'intento di interoperabilità senza duplicazione dei dati che l'Istituto si propone.

Un'ulteriore applicazione WebGIS che può essere concepita come strumento VGI è GisCloud (<http://www.giscloud.com/>). Tale applicazione è in realtà un sistema di *cloud computing* dedicato a servizi WebGIS che permette di sfruttare risorse distribuite (*file system*, database PostGIS, WMS, TMS) per realizzare progetti GIS online.

Tra le sue funzionalità ci sono la possibilità di caricare, pubblicare, gestire ed esportare dati raster e vettoriali di tutti i principali formati noti, e anche quella di fungere da *client* di servizi OGC, offrendo così la possibilità di realizzare  *mashup* e servizi a cascata. A questa offerta si aggiungono alcuni semplici strumenti di analisi GIS e statistica, che rendono ampia la possibilità di selezione, elaborazione ed editing sui dati. La pubblicazione della mappa prevede poi numerose opzioni, con le quali si possono ricavare il codice per incorporare la mappa in una pagina web esterna, l'indirizzo web in cui la mappa è ospitata, l'*endpoint* dell'eventuale servizio WMS attivato, ma anche stabilire le impostazioni per l'esportazione dei singoli *layers* e per altre operazioni di dettaglio. GisCloud dà infine la possibilità di servire una mappa come servizio WMS.

A differenza di GeoCommons, GisCloud prevede la possibilità di cooperare con altri utenti registrati sullo stesso documento mappa, nonché quella di impostare utenze e permessi di accesso diversificati.

In entrambe le applicazioni, non è previsto l'inserimento diretto di immagini fotografiche, seppure georiferite, ma è possibile attivare un link a raccolte fotografiche on line come attributo di tabella spaziale.

Le capacità elencate fanno di GeoCommons e di GisCloud un'interessante tavolo di prova per sperimentazioni di VGI. Infatti, le mappe prodotte nell'attività di ricerca potrebbero essere caricate nelle strutture dati predisposte e una o più mappe, potrebbero essere predisposte e rese pubbliche, anche attraverso servizi OGC. I volontari autenticati dall'amministratore potrebbero accedere attraverso un *account* a tali mappe ed arricchirle con i propri dati, mentre gli utenti non autenticati sarebbero comunque in grado di visualizzarle da *web browser* e di raggiungere, almeno limitatamente ai privilegi impostati dall'amministratore, le informazioni pubblicate.

Diverse sono, in ogni caso, le perplessità che una simile scelta porterebbe con sé. Tali soluzioni costringono infatti ad archiviare i propri dati in spazi sul Web e pongono quindi quesiti di possibile difficoltà di accesso in caso di malfunzionamento della rete, nonché problemi di sicurezza dalle intrusioni. Esse inoltre non sono di immediato utilizzo per gli utenti meno esperti soprattutto per quanto riguarda le procedure di aggiornamento e navigazione.

Per meglio confrontare le soluzioni esistenti, i requisiti delineati come significativi all'inizio del capitolo sono stati valutati relativamente alle singole applicazioni esaminate. I risultati sono stati schematizzati per maggiore chiarezza in una tabella (figura 1), e riportati suddivisi per tematica, mettendo in evidenza con il grassetto le caratteristiche considerate irrinunciabili.

Dalla tabella appare più evidente la ricchezza di contenuti delle due applicazioni di tipo WebGIS, rispetto a quelle di semplice *web mapping*. Punti di forza dei due programmi analizzati, GeoCommons e GisCloud, si individuano soprattutto nella capacità di incamerare contenuti di fonti

più varie nella fase di composizione della mappa digitale, e negli strumenti di analisi a disposizione degli utenti. Apprezzabili sono anche le opzioni che consentono di stabilire livelli di interazione e permessi diversificati con le altre utenze. Limitati, se non inesistenti, risultano invece gli spazi sociali per lo scambio di informazioni, commenti e *feedback*.

|                         |                                | WEB-MAP  |           |          |             |          |           | WEB-GIS     |             |
|-------------------------|--------------------------------|----------|-----------|----------|-------------|----------|-----------|-------------|-------------|
|                         |                                | TAGZANIA | WAYFARING | CROWDMAP | MAP BUILDER | BATCHGEO | TARGETMAP | GEO COMMONS | GIS CLOUD   |
| COMPOSIZIONE MAPPA      | <b>Shp format</b>              |          |           |          |             |          |           |             |             |
|                         | <b>Tiff format</b>             |          |           |          |             |          |           |             |             |
|                         | Basemaps                       |          |           |          |             |          |           |             |             |
|                         | WMS client                     |          |           |          |             |          |           |             |             |
|                         | Fotografie                     |          |           |          |             |          |           |             |             |
|                         | Serie di punti                 |          |           |          |             |          |           |             |             |
|                         | <b>csv /xls format</b>         |          |           |          |             |          |           |             |             |
| ANALISI MAPPA           | <b>Analisi Tabelle</b>         |          |           |          |             |          |           |             |             |
|                         | Editing tabelle                |          |           |          |             |          |           |             |             |
|                         | Timeline / grafici             |          |           |          |             |          |           |             |             |
|                         | <b>Collaborazione su mappa</b> |          |           |          |             |          |           |             |             |
| STRUMENTI PARTECIPATIVI | Embed                          |          |           |          |             |          |           |             |             |
|                         | Feedback e commenti            |          |           |          |             |          |           |             |             |
|                         | Gruppi di utenti               |          |           |          |             |          |           |             |             |
|                         | Download dati                  | KML      |           |          |             | KML      | PNG       | KML SHP CSV | KML SHP CSV |

Figura 1 – Schema riassuntivo delle caratteristiche significative delle applicazioni indagate. In grassetto sono riportate le caratteristiche irrinunciabili. Le caselle grigie corrispondono ai requisiti soddisfatti.

### 3. Discussione e strategia per il problema della qualità

La ricerca condotta sulle possibili soluzioni e le sperimentazioni effettuate hanno messo in luce le grandi potenzialità della geografia partecipativa e dato forza all'intento di IREA di creare strumenti per integrare il lavoro degli specialisti di dati spaziali con quello dei volontari, con meccanismi tipici del VGI.

Le potenzialità tecnologiche appaiono oggi sufficientemente mature per supportare sistemi di *web mapping* che diano garanzia di serietà dei contenuti e insieme offrano semplicità nell'utilizzo.

Tali prodotti tuttavia si rivelano meno adeguati nell'ospitare i dati spaziali dei formati raster e vettoriali comunemente utilizzati in Enti e Istituti pubblici, e lo stesso limite si riscontra per quanto riguarda il trattamento dei metadati e dei servizi web.

Colmare tali carenze significa, allo stato attuale, ricorrere a tecnologie e strumenti costruiti ad hoc, o aventi licenze proprietarie a pagamento.

In alternativa si può valutare l'eventualità di utilizzare applicazioni più complesse, vicine all'ambiente GIS, gratuite e aperte su web. Queste ultime appaiono inevitabilmente come una soluzione di compromesso: la ricerca di aspetti vantaggiosi, quali la semplicità d'uso, la gratuità, la compartecipazione di dataset e mappe, avviene alle spese della complessità di analisi, della incompleta flessibilità del codice sorgente, e dell'accettazione di permessi di pubblicazione non sempre desiderati. Il loro eventuale utilizzo dovrà pertanto essere valutato di caso in caso, in riferimento alla tipologia di dato in ingresso, all'esperienza degli operatori e allo scopo ultimo del progetto.

In realtà, nella maggior parte dei contesti all'interno di IREA risulterebbe difficile ed oneroso affrontare in maniera vincente il problema generale legato alla affidabilità dell'informazione volontaria.

Infatti, l'affidare a contribuenti volontari il delicato compito della raccolta dei dati e della loro integrazione con informazioni geografiche preesistenti porta inevitabilmente con sé un insieme di vantaggi e di problematiche.

Evidenti utilità di un simile approccio sono collegate alla quantità potenzialmente illimitata di informazioni che così possono essere individuate, accorpate e condivise, a beneficio di tutta la comunità scientifica e dell'intera utenza web. In applicazioni che sfruttano il contributo di volontari, il flusso di dati in ingresso trae vitalità dalla molteplicità di produttori, e consente così di garantire un aggiornamento rapido della base di dati, con ritmi e costi difficilmente sostenibili da un gruppo di lavoro o da una Pubblica Amministrazione.

La natura stessa dell'approccio volontario comporta d'altra parte un ovvio problema relativo alla qualità e all'affidabilità dei dati, nonché al loro corretto inserimento. Tale incertezza non può essere definitivamente eliminata se non attraverso un diretto controllo dei dati in ingresso. Un simile meccanismo tuttavia appesantirebbe drasticamente la procedura, andando ad indebolire proprio le caratteristiche benefiche di rapidità nell'aggiornamento e ricchezza dell'informazione geografica, senza contare le ovvie difficoltà che sorgerebbero nell'individuare una soglia qualitativa per i dati in input, caratterizzati da forte variabilità relativamente a formato, rilevanza scientifica e provenienza.

In generale la qualità delle informazioni volontarie dipende dalla motivazione dei *producers* e dalla natura dell'applicazione cui essi contribuiscono. Alcuni autori hanno fatto notare che in certi casi l'approccio partecipativo potrebbe introdurre informazioni errate o volontariamente fuorvianti e hanno quindi suggerito strategie per ovviare a tali gravi inconvenienti (Coleman et al., 2009, Flanagan et al. 2008, Goodchild, 2007)

Nei casi in cui i volontari siano motivati a contribuire positivamente, una soluzione che risponde in maniera sufficiente alle esigenze, mediando tra le necessità di controllo di qualità del dato e di fluidità del processo di *upload*, può essere trovata in un lavoro preliminare di selezione e formazione dei volontari destinati ad operare sul dataset. La preparazione degli operatori diventerebbe così una garanzia di affidabilità del materiale raccolto ed aiuterebbe a limitare drasticamente gli errori e le inesattezze.

Tale onere, d'altra parte, risulta una ulteriore incombenza a carico dei volontari, che necessiterebbero di ulteriore motivazione per assumere il loro compito e mantenerlo nel tempo. Per ovviare ad un simile problema è possibile ricorrere a strumenti di gratifica e di fidelizzazione, che stimolino i membri del gruppo a svolgere il proprio compito con costanza e precisione.

Una seconda strategia utile nel valorizzare dati qualitativamente pregevoli e nell'isolare dati inadeguati, prevedrebbe l'uso degli spazi per commenti e *feedback* presenti in alcune applicazioni collaborative esaminate, e la creazione di strumenti di *rating*. Simili strumenti, mutuati da blog, *communities* e *social network*, possono favorire il raggiungimento di un livello qualitativo soddisfacente delle informazioni spaziali raccolte volontariamente e la scrematura rispetto a informazioni inaffidabili o dannose.

Per i motivi appena evidenziati, e visti i requisiti di affidabilità e qualità dei dati inseriti nella propria infrastruttura, IREA ha stabilito che una prima sperimentazione di VGI dovrà avvenire in un ambiente controllato in cui le variabili dipendenti dall'utente volontario siano note e circoscritte.

#### 4. Scelta di un possibile caso di studio

Tra le numerose applicazioni in IREA, un contesto sperimentale particolarmente favorevole può essere trovato nell'ambito del monitoraggio delle superfici glacializzate italiane.

Il monitoraggio dello stato dei ghiacciai italiani, coordinato dal Comitato Glaciologico Italiano (CGI), usufruisce del contributo di diversi enti ed associazioni che traggono informazioni basandosi su tecniche di osservazione sia in situ che da remoto. Tali informazioni vengono quindi diffuse in varie forme (pubblicazioni, bollettini, siti web) assicurandone la qualità nonché l'aggiornamento a cadenza tradizionalmente annuale. Si tratta di una serie storica di informazioni di grande pregio che contribuisce fortemente alla comprensione degli ambienti montani e dei fenomeni meteoroclimatici relativi. Il monitoraggio è periodicamente aggiornato attraverso la raccolta di informazioni su campo, effettuata da alpinisti ed esperti conoscitori dell'ambiente montano e glaciale, che operano a titolo volontario suddividendosi i compiti di misurazione per area geografica. Questa comunità di volontari ha in sé le caratteristiche di competenza, costanza, impegno e passione, che la rendono la base ideale per una sperimentazione di VGI in un contesto controllato. Tali operatori infatti, non solo conoscono l'ambiente glaciale e gli strumenti e metodologie di misura, ma hanno anche una forte motivazione personale nello svolgere il proprio compito con precisione. A tale gruppo sarebbe possibile fornire le conoscenze di base per inserire correttamente i dati in un sistema VGI. Strumenti di *rating*, *feedback*, commenti e comunicazioni periodiche completerebbero il quadro, ponendosi ad ulteriore garanzia dell'affidabilità dei dati. D'altro canto un adeguato meccanismo di riconoscimento dei dati forniti dai singoli volontari potrebbe assicurare quella premialità e sicurezza di identificazione necessarie a gratificare i contributi e a rafforzare il legame della comunità di volontari così costituita.

Un'applicazione di VGI in questo settore avrebbe tutte le caratteristiche necessarie. Essa infatti seguirebbe i principi:

- *Community based*: in quanto si fonderebbe sull'impiego collaborativo della comunità di dei membri del CGI;
- *Fluid roles*: i membri del CGI sarebbero sia contributori volontari sia utilizzatori delle informazioni fornite da altri;
- *Unfinished artefacts*: i cambiamenti in atto nell'ambiente glacializzato e il loro forte dinamismo renderebbero questa applicazione costantemente in divenire;
- *Common property-individual merit*: adeguati meccanismi di gratifica assicurerebbero il riconoscimento del merito individuale del contributo degli operatori.

Una sperimentazione di questo genere potrebbe essere sviluppata in un ambiente adatto ad accogliere ed esporre su web dati, cartografia, fotografie, informazioni di vario tipo di provenienza volontaria e per visualizzarli sia come mappa sia con i loro attributi testuali e tabellari, al fianco di *layers* già facenti parte della base di dati del CGI.

In un simile studio, tra i requisiti precedentemente analizzati, grande importanza rivestirebbe la disponibilità della soluzione tecnologica impiegata nell'accettare e nel visualizzare correttamente i formati vettoriali e le tabelle di attributi. Altrettanto gradita sarebbe la capacità di collaborare su un unico documento mappa e di offrirne taluni contenuti in condivisione con altri utenti, tramite visualizzazione web e tramite download nei formati originari. Sarebbero infine di grande utilità strumenti in grado di estrarre informazioni attraverso grafici e di valutare l'andamento temporale di alcuni parametri ricorrenti.

Un simile sistema di raccolta ed esposizione delle informazioni glaciologiche non solo faciliterebbe l'aggiornamento dei dati, ma catalizzerebbe anche un meccanismo virtuoso di concentrazione - diffusione della conoscenza nel settore.

### **Bibliografia:**

Bruns A. (2006), "Towards produsage: futures for user-led content production", Proceedings: *Cultural Attitude towards Communication and Technology*, pp. 275-84, F. Sudweeks, H. Hrachovec, and C. Ess (eds). Murdoch University, Perth, Australia.

Coleman D., Georgiadou Y., Labonte J. (2009), "Volunteered Geographic Information: The Nature and Motivation of Producers", *International Journal of Spatial Data Infrastructures Research*, 4: 332-358

Coleman D., Georgiadou Y. (2010), "Why and What Do Individuals contribute? Volunteered Geographic Information", *GeoInformatics*, 13, 2: 50-52.

Craig W., Harris T., Weiner D. (Eds) (2002), *Community participation and geographic information systems*. London, Taylor and Francis.

Criscuolo L., Pepe M., Carrara P., Lella S. (2011), "OGC web services in the workflow of remote sensing data of a research Institute", Proceedings of the *International Conference FromSpaceToEarth*, 21-23 March 2011, Venice, Italy.

De Longueville B. (2010), "Community-based geoportals: The next generation? Concepts and methods for the geospatial Web 2.0", *Computers, Environment and Urban Systems*, 34: 299-308.

Flanagin, A. J.; Metzger, M. J. (2008). "The credibility of volunteered geographic information", *GeoJournal*, 72: 137-148.

Fischer F. (2009), "Donate your Geo-data! – Rethinking the Geo-information Economy with Neogeography", *GeoInformatics*, 12 (5): 12-14.

Goodchild M. (2007), "Citizen as sensors: the world of volunteered geography", *GeoJournal* 69 (4): 211-221.

Sieber R. (2006), "Public participation geographic information systems: a literature review and framework", *Annals of the American Association of Geography*, 96 (3): 491-507.

Tang T., Zhao J., Coleman D. (2005), "Design of a GIS-enabled Online Discussion Forum for Participatory Planning". Proceeding of the *4<sup>th</sup> Annual Public Participation GIS Conference*, Cleveland State University, Cleveland, Ohio, USA. Urban and Regional Information System Association. August.

Yang C., Goodchild M., Huang Q., Nebert D., Raskin R., Xu Y., Bambacus M., Fay D. (2011), "Spatial Cloud Computing: how can the geospatial sciences use and help shape cloud computing?", *International Journal of Digital Earth*, 4, 4: 305-329.



## **Studio del sistema di posizionamento GNSS/INS con strumentazione di basso costo**

Alberto Croci, Mattia De Agostino, Ambrogio M. Manzino

Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie  
Corso Duca degli Abruzzi 24, 10129 Torino (Italy), Tel. +39 (011) 564.7661/7675, Fax +39 (011) 564.7699  
alberto.croci@polito.it, mattia.deagostino@polito.it, ambrogio.manzino@polito.it

### **Riassunto**

La complementarità tra i sistemi GPS ed INS è ben nota: mentre i primi consentono un posizionamento con un'elevata ripetibilità, ma influenzato dalla presenza di ostacoli che limitano la ricezione del segnale, la navigazione inerziale consente un posizionamento continuo ed indipendente da ostacoli, ma caratterizzato da incertezze crescenti, a causa dell'accumularsi degli errori sistematici ed accidentali. L'integrazione tra i due sistemi permette di ottenere una soluzione al contempo accurata e continua. Inoltre, lo sviluppo dei sensori di tipo MEMS, caratterizzati da costi e dimensioni ridotte, ha permesso di utilizzare questo tipo di posizionamento anche per applicazioni non prettamente di rilievo di precisione. Lo scopo del presente lavoro è quello di ottenere un sistema di posizionamento a bassissimo costo per applicazioni di infomobilità, monitoraggio delle flotte e trasporto di merci pericolose, basato sull'utilizzo di un sensore inerziale non nato per applicazioni di posizionamento, ed un ricevitore GPS da automobile, con un costo finale dei due sensori che, comprensivo dell'ingegnerizzazione, risulta inferiore ai 250 €.

### **Abstract**

The GPS and INS complementarity is well known: while the former allows positioning with high repeatability but it is influenced by obstacles, the inertial navigation allows a continuous and autonomous positioning, but that is characterized by increasing uncertainty, due to the growth of systematic and accidental errors. The integration of these two navigation systems allows an accurate and continuous solution. Furthermore, the development of MEMS sensors, characterized by low costs and small sizes, permits these systems to be used not only for precise navigation applications. The aim of this work is to obtain a very low-cost positioning system for infomobility, fleets and dangerous goods monitoring applications, based on the use of an inertial measurement unit not specifically designed for positioning, and of a car GPS unit. It should be noted that the final cost of the two sensors is lower than 250 euros.

### **Introduzione**

I sistemi di posizionamento satellitare GPS, o più genericamente GNSS (acronimo di *Global Navigation Satellite System*), permettono di ottenere, in modalità *stand-alone*, le coordinate dell'utente con accuratezze metriche e con un'elevata ripetibilità (Pertusini et al., 2009). Queste coordinate risultano però essere fortemente influenzate dalla qualità del segnale GNSS: qualora si operi in viali alberati o canyon urbani, la precisione del posizionamento satellitare può diminuire drasticamente, con il rischio di non fornire addirittura alcun risultato.

Alla luce di quanto visto, nel caso in cui si voglia raggiungere un posizionamento di precisione e che sia nel contempo affidabile in qualsiasi ambiente ci si trovi a lavorare, è necessario integrare il sistema GPS con un sensore che, per caratteristiche, sia il più possibile complementare.

Il posizionamento tramite sensori inerziali (INS, acronimo *Inertial Navigation System*) si presenta come una delle alternative al GPS più utilizzate dal punto di vista navigazionale (El-Sheimy, 2003; Mok et al., 2007; Retscher e Fu, 2009). Tali sensori (generalmente chiamati IMU, acronimo di *Inertial Measurement Unit*) consentono di ottenere un posizionamento continuo ed indipendente dagli ostacoli di tipo ambientale, ma caratterizzato da un'incertezza nella soluzione finale che aumenta con il passare del tempo, a causa dell'accumularsi degli errori sistematici ed accidentali propri degli accelerometri e dei giroscopi.

L'utilizzo integrato dei due sensori consente di utilizzare la soluzione GPS, quando calcolabile, per ridurre gli errori a lungo termine dell'INS. Nello stesso tempo, l'INS è in grado di fornire una soluzione continua ed indipendente nei periodi in cui la soluzione GNSS non sia disponibile.

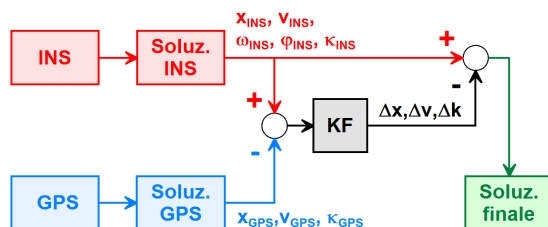


Figura 1 – Schema di integrazione GPS/INS.

Nel presente lavoro si è scelto di utilizzare il metodo di integrazione GPS/INS schematizzato in Figura 1 (De Agostino, 2010), in cui le posizioni calcolate a partire dalle misure GPS (in azzurro) vengono impiegate all'interno di un filtro di Kalman alla stregua di vere e proprie misure, allo scopo di compensare gli errori legati all'uso dei dati inerziali (in rosso).

La soluzione finale (in verde) sarà dunque rappresentata dalla soluzione del sistema inerziale (in rosso) corretta con le stime degli errori (in nero) ottenute nel filtro di Kalman a partire dall'integrazione GPS/INS.

### Strumentazione utilizzata

Il sistema di navigazione in progetto si basa sull'utilizzo di sensori di basso costo. In particolare, sono stati utilizzati:

- il ricevitore GPS HAICOM – HI 204III (dal costo di circa 50 €)
- la piattaforma IMU STEVAL-MKI062V1 (dal costo, già ingegnerizzata, di poco inferiore a 200 €)

Oltre al costo contenuto, un'altra caratteristica che rende i due sensori adatti all'applicazione oggetto di studio è la dimensione ridotta, evidenziata in Figura 2, che permette di installarli, ad esempio, sul cruscotto del veicolo.

### L'algoritmo di navigazione

L'algoritmo di navigazione si divide in una prima fase di inizializzazione dei sensori a bordo del veicolo, detta allineamento, da eseguirsi a veicolo fermo, ed una seconda fase di navigazione sia in condizioni di moto statico che cinematico.

Per la fase di allineamento si è posta una durata pari a 60 secondi, al fine di raccogliere una quantità sufficiente di misure GPS ed INS, necessarie per stimare (Groves, 2010):

- l'assetto iniziale del mezzo (rollio  $\omega_0$ , beccheggio  $\phi_0$  e sbandamento  $\kappa_0$ ) tramite le misure degli accelerometri e dei magnetometri di cui è dotata la piattaforma IMU (cfr. Figure 3 e 4);

- il valore degli errori sistematici (*bias*) degli accelerometri. In Figura 5, ad esempio, è mostrato come, a veicolo fermo, le accelerazioni misurate non siano costanti, ma oscillino intorno ad un valore medio;
- la posizione iniziale del veicolo, ottenuta attraverso una media pesata delle posizioni GPS rispetto al numero di satelliti visibili a ciascuna epoca.



Figura 2 – Strumentazione utilizzata.

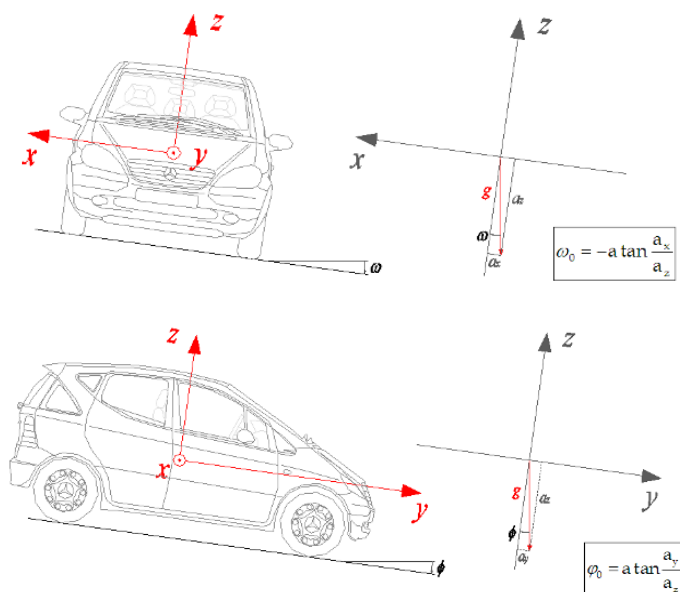


Figura 3 – Calcolo degli angoli  $\omega_0$  e  $\phi_0$  tramite gli accelerometri.

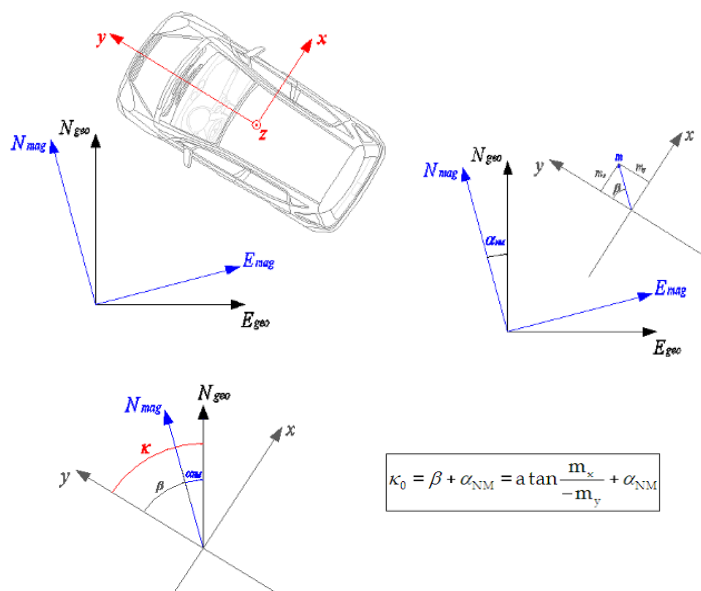


Figura 4 – Calcolo dello sbandamento  $\kappa_0$  tramite i magnetometri.

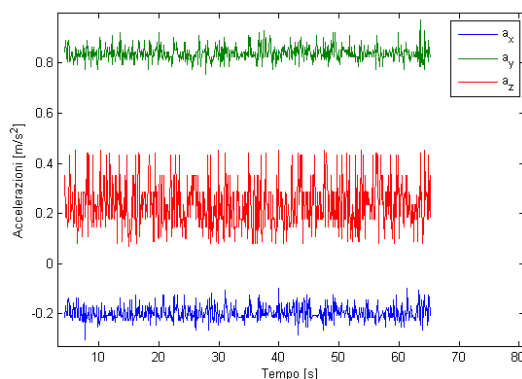


Figura 5 – Accelerazioni misurate durante la fase di allineamento.

Per scelta progettuale si è deciso di non utilizzare le misure provenienti dai giroscopi in quanto, nelle piattaforme IMU di basso costo come quella utilizzata in questa fase, questi sensori sono affetti da basse sensibilità (dell'ordine del deg/s) e da derivate molto elevate, spesso di difficile modellazione (Artese e Trecroci, 2007).

Una ulteriore scelta progettuale riguarda l'imposizione di moto non-olonomico, nell'impossibilità, da parte del veicolo, di muoversi trasversalmente al senso di marcia (El-Sheimy, 2003).

Concluso l'allineamento si procede al calcolo delle posizioni per ogni epoca di misura. Durante questa fase è necessario considerare la differente frequenza di campionamento tra i due sensori utilizzati (1Hz per il GPS e 10 Hz per il sensore INS). A causa di questo differente *rate* di campionamento, l'integrazione dei due sistemi di posizionamento sarà quindi possibile esclusivamente nel caso si abbiano contemporaneamente sia le posizioni GPS che INS. In tutte le altre epoche non comuni (sia quelle comprese fra due misure GPS consecutive, sia in corrispondenza

di un'interruzione del segnale GPS) è comunque possibile calcolare il posizionamento attraverso le sole misure inerziali, ed apportando le opportune correzioni ricavate dalle precedenti epoche comuni.

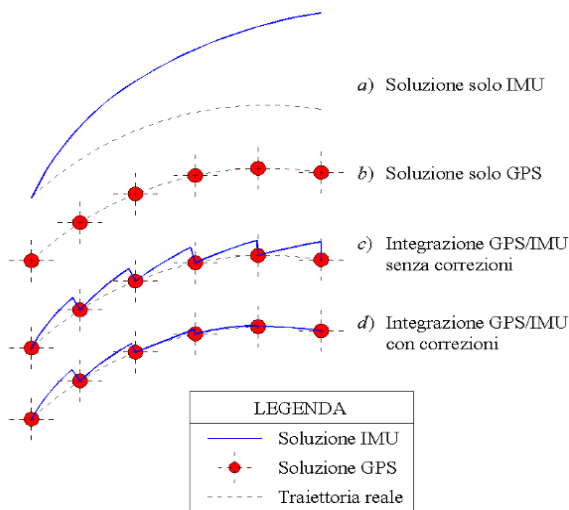


Figura 6 – Confronto fra le soluzioni di navigazione.

La Figura 6 mostra come:

1. l'utilizzo del solo sensore inerziale comporti un posizionamento continuo, ma il cui errore aumenti proporzionalmente al quadrato del tempo;
2. l'impiego di un ricevitore GPS offra una soluzione più accurata ma che potrebbe non essere calcolabile nel caso di perdite di segnale.

L'integrazione dei due strumenti, se interpretata come mero accoppiamento dei sensori, ovvero senza il calcolo dinamico delle correzioni da apportare alla soluzione, potrebbe comportare, nel caso di un lungo periodo di assenza di segnale GPS, gli stessi problemi illustrati al punto 1. Se invece si sceglie di calcolare dinamicamente le correzioni da apportare alla soluzione inerziale, tramite il confronto con quella GPS, il risultato è esattamente quello mostrato dalla Figura 6-d, in cui si apprezza la progressiva riduzione del comportamento comunemente detto "a dente di sega", ovvero della differenza fra la soluzione inerziale e quella GPS (De Agostino, 2009).

### La soluzione finale di navigazione

Per verificare il funzionamento del software di posizionamento sono state compiute alcune traiettorie cinematiche nei pressi di Siena, utilizzando la strumentazione descritta in precedenza.

I percorsi scelti sono stati prevalentemente extraurbani, in ambienti privi di ostacoli alla ricezione del segnale GPS. Tale scelta è stata fatta in fase progettuale per poter tarare l'algoritmo di calcolo, e per poter ottenere poi una soluzione di riferimento rispetto alla quale calcolare le derivate in assenza del segnale GPS.

Il risultato del posizionamento sull'intero set di misure ha consentito di calcolare la traiettoria mostrata in Figura 7. Si noti come, in questo caso, la soluzione GPS governi, di fatto, l'andamento del risultato finale.

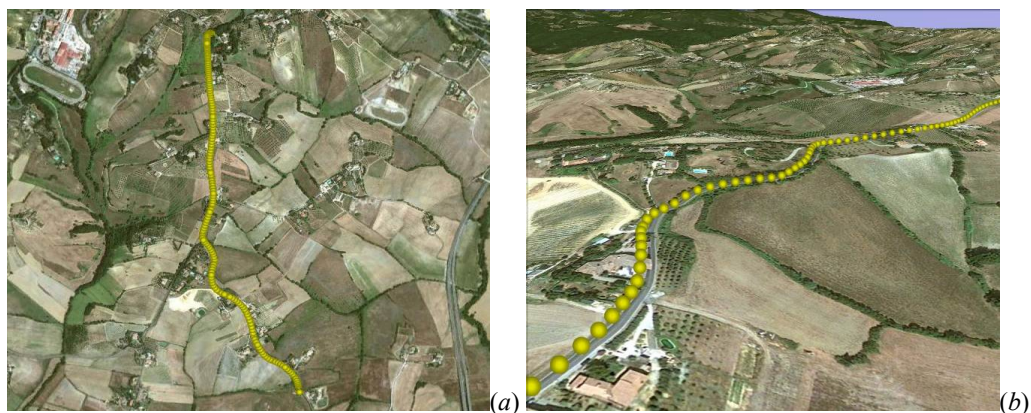


Figura 7 – Andamento planimetrico (a) e vista 3D (b) della soluzione di navigazione su Google Earth™.

### L'affidabilità della soluzione GPS

Come già anticipato nei paragrafi precedenti, i problemi sopraggiungono qualora si verificano delle perdite del segnale GPS più o meno lunghe. A questo proposito, è stato condotto un test avente lo scopo di valutare quanto lunghe potessero essere le perdite di segnale GPS in ambito urbano. Si è dunque scelto di testare il ricevitore GPS all'interno di un percorso urbano nel centro storico di Vercelli, procedendo ad una velocità media di circa 50 km/h.

Per avere un'indicazione visiva ed immediata della qualità della soluzione ottenuta, sono state prodotte due immagini nelle quali ciascuna posizione calcolata assume un colore differente (verde, giallo o rosso) in funzione, nel primo caso, del numero di satelliti visibili e, nel secondo caso, della rumorosità del segnale ricevuto.

Il filtraggio relativo al numero di satelliti visibili evidenzia come il ricevitore, durante l'intera sessione di misura durata circa 30 minuti, abbia tracciato con continuità un elevato numero di satelliti, anche nelle zone caratterizzate dalla presenza di ostacoli comunemente fonte di disturbo alla ricezione del segnale GPS (edifici, viali alberati ecc.).

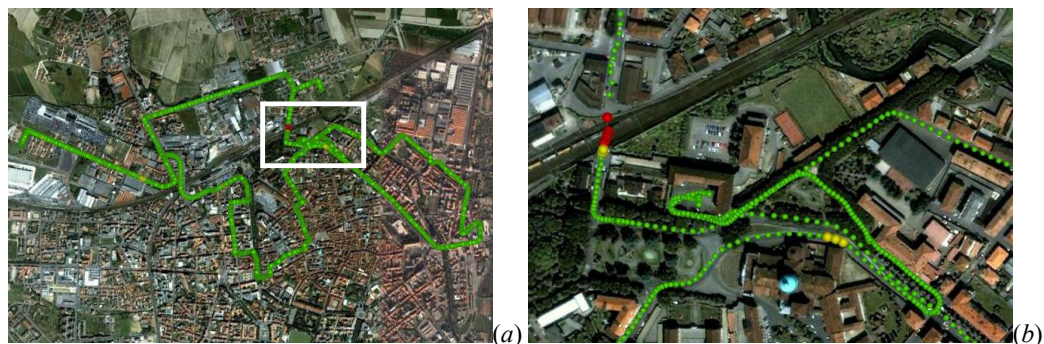


Figura 8 – Numero di satelliti in vista per ogni epoca di misura (a) e relativo ingrandimento (b) (Verde:  $\geq 8$ ; Giallo:  $4 \div 8$ ; Rosso:  $< 4$ ).

In particolare, si è riscontrato un solo caso di assenza di segnale, di durata inferiore a 10 s, in corrispondenza del sottopassaggio ferroviario (cfr. Figura 8.b).



I risultati ottenuti dall'analisi del solo numero di satelliti in vista potrebbe far supporre che il posizionamento ottenuto possa essere ritenuto affidabile anche nel centro cittadino ed all'interno dei canyon urbani. Tuttavia, l'analisi relativa alla rumorosità del segnale (cfr. Figura 9) dimostra come, negli ambienti caratterizzati da una limitata visibilità (il centro storico), il posizionamento sia scarsamente affidabile.

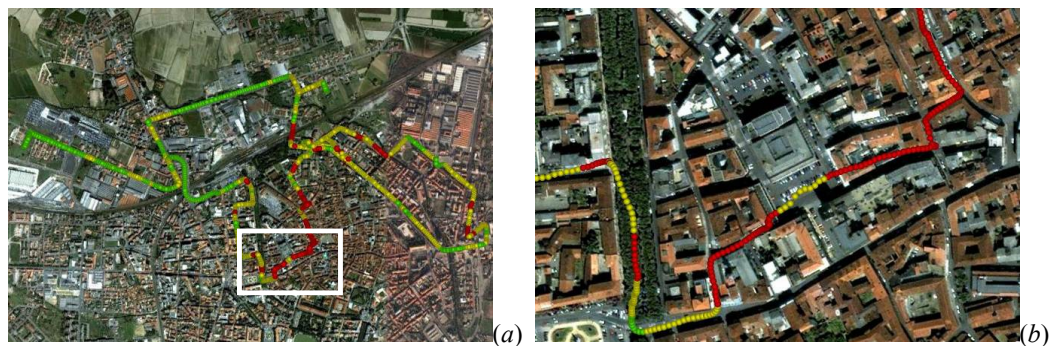


Figura 9 – Rapporto segnale/rumore per ogni epoca di misura (a) e relativo ingrandimento (b) (Verde:  $\geq 40$  dB/Hz; Giallo:  $35 \div 40$  dB/Hz; Rosso:  $< 35$  dB/Hz).

Quanto appena detto è evidenziato nella Figura 9.b, dove si nota come, in corrispondenza delle epoche con segnale/rumore molto basso, la traiettoria si discosti da quella effettivamente percorsa.

### L'affidabilità della soluzione GPS/INS

Quanto premesso nel paragrafo precedente conferma la necessità di affiancare al ricevitore satellitare un sensore inerziale, allo scopo di migliorare la qualità e l'affidabilità del posizionamento per brevi periodi.

Proprio per valutare la stabilità della soluzione in relazione ad interruzioni del segnale satellitare, è stato ripetuto il calcolo del posizionamento, relativo alla traiettoria nei pressi di Siena, simulando delle perdite di segnale di durata variabile (pari a 10, 20, 30 e 60 secondi).

Tali simulazioni hanno permesso di ricavare empiricamente la relazione fra l'errore planimetrico commesso ed il periodo di assenza del segnale (De Agostino e Porporato, 2008). Come si può notare dalla Figura 10 tale curva ha il classico andamento parabolico dovuto alla doppia integrazione nel tempo del *bias* degli accelerometri.

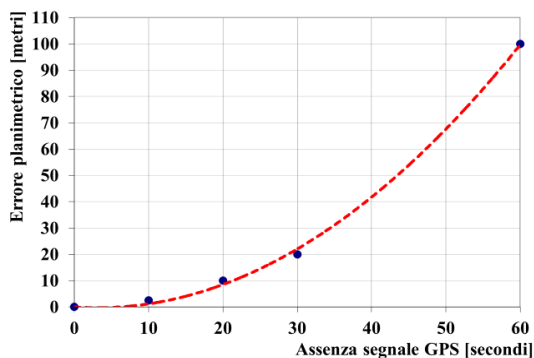


Figura 10 – Curva di errore.

La Figura 10 mostra come vi sia un errore molto elevato in corrispondenza di una perdita di segnale di 60 s. Tale durata risulta tuttavia incompatibile con le applicazioni di infomobilità per le quali è stato sviluppato tale algoritmo.

Le Figure 11.a e 11.b mostrano la traiettoria calcolata in corrispondenza di un'interruzione del segnale GPS di 10 e 30 secondi rispettivamente.

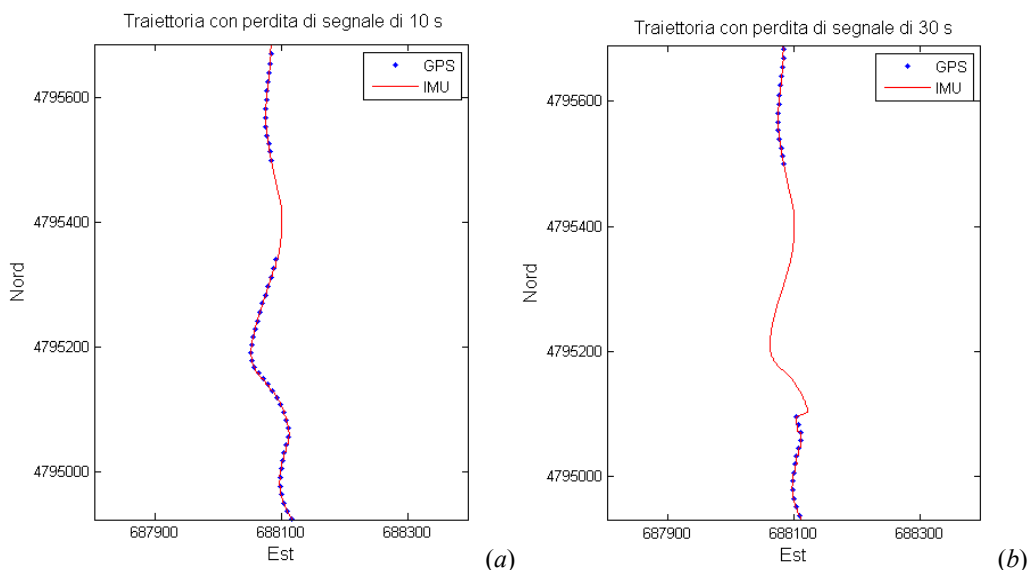


Figura 11 – Soluzione con cycle slip simulati di durata 10 (a) e 30 (b) secondi.

## Conclusioni

L'algoritmo di posizionamento studiato, basato sul metodo *loosely-coupled*, e le prove di navigazione eseguite hanno permesso di valutare l'effettiva potenzialità derivante dall'integrazione di sensori GNSS/INS di bassissimo costo per scopi di infomobilità.

L'analisi dell'errore ottenuto con i *cycle slip* simulati ha consentito di evidenziare la possibilità di mantenere le precisioni metriche, caratteristiche del ricevitore GPS in dotazione, anche in presenza di perdite di segnale GNSS di durata pari a 10-15 secondi. Si sono inoltre ottenute, anche per perdite di segnale di durata superiore ai 20 secondi, accuratèzze comunque compatibili con le applicazioni ipotizzate. È inoltre importante sottolineare come dai test svolti in ambiente urbano si sia evidenziato come la maggior parte dei *cycle slip* effettivamente registrati abbia una durata non superiore ai 10 secondi.

## Bibliografia

- Artese G., Trecroci A. (2007), "Sistemi INS/GPS a basso costo per la realizzazione di un sistema di navigazione integrato", *Atti 11<sup>a</sup> Conferenza Nazionale ASITA*, Torino, 6-9 Novembre 2007.
- De Agostino M. (2010), *I sensori inerziali di basso costo per la navigazione geodetica*, Tesi di Dottorato, Politecnico di Torino.
- De Agostino M. (2009), "Performance of Different Low-cost GNSS/INS Land Systems", *ION GNSS Proceedings*, Savannah (GA – USA), 22-25 Settembre 2009.

- De Agostino M., Porporato C. (2008), "Development of an Italian Low Cost GNSS/INS Universally Suitable System for Mobile Mapping", *IEEE/ION Position, Location And Navigation Symposium Proceedings*, Monterey (CA – USA), 5-8 Maggio 2008.
- El-Sheimy N. (2003), *Inertial Techniques and INS/DGPS Integration*, Dispense, Department of Geomatics Engineering, University of Calgary, Canada.
- Groves P. (2008), *Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems*, Artech House, Boston.
- Retscher G., Fu Q. (2009), "An intelligent personal navigator integrating GNSS, rfid and INS for continuous position determination", *6<sup>th</sup> International Symposium on Mobile Mapping Technology Proceedings*, Presidente Prudente (Brasile), 21-24 Luglio 2009.
- Mok E., Retscher G., Xia L. (2007), "MRErA (minimum Range Error Algorithm): RFID - GNSS Integration for Vehicle Navigation in Urban Canyons", *5<sup>th</sup> International Symposium on Mobile Mapping Technology Proceedings*, Padova, 28-31 Maggio 2007 .
- Pertusini L., Realini E., Reguzzoni M. (2009), "Utilizzo del software goGPS per la navigazione di precisione con ricevitori a basso costo", *Atti 13<sup>a</sup> Conferenza Nazionale ASITA*, Bari, 1-4 Dicembre 2007.



## **Prestazioni del software di analisi dati GPS NDA Lite in applicazioni di monitoraggio strutturale**

Davide Curone (\*), Massimiliano Chersich (\*\*)

(\*) Centro Europeo di Formazione e Ricerca in Ingegneria Sismica (EUCENTRE), via Ferrata 1  
27100 Pavia, Tel. 0382-516954, e-mail: [davide.curone@eucentre.it](mailto:davide.curone@eucentre.it)

(\*\*) Galileian Plus S.r.l., c/o EUCENTRE, via Ferrata 1, 27100 Pavia, Tel. 0382-524482  
e-mail: [mchersich@galileianplus.it](mailto:mchersich@galileianplus.it)

### **Riassunto**

Il software di analisi dati GPS NDA Lite, sviluppato da Galileian Plus per il monitoraggio geofisico in modalità statico relativa, è stato recentemente modificato per poter processare sessioni di misura più brevi, mantenendo ripetibilità millimetriche. Questo miglioramento è stato implementato per poter estendere il suo utilizzo ad applicazioni di monitoraggio strutturale, nelle quali è necessaria la risoluzione di spostamenti (derive o oscillazioni) di ampiezza sub-centimetrica, che avvengono in periodi di tempo di poche ore.

Per quantificare le prestazioni di NDA Lite e determinare la configurazione ottimale di un sistema di monitoraggio strutturale che integri la sensoristica classica con le informazioni ricavabili dall'analisi dati GPS, si è realizzato uno studio di ripetibilità (RMS) della misura di posizione utilizzando dati provenienti da ricevitori GPS di tipo geodetico a doppia frequenza. La ripetibilità delle componenti UP, EST e NORD delle linee di base è stata studiata in funzione della distanza tra i ricevitori (da 20 m a 25 km), della lunghezza delle sessioni di misura (da 20 minuti a 24 ore) e del periodo di campionamento delle osservabili (da 2 a 30 secondi). Si sono inoltre stimati i tempi di calcolo necessari per l'analisi di ogni sessione, in funzione degli stessi parametri.

I risultati ottenuti hanno dimostrato come, nel caso di linee di base corte (inferiori a 1 km) l'RMS varia tra 0.2 mm (sessioni di 24 ore) e 2.8 mm (sessioni di 20 minuti). Nel caso di linee di base di lunghezza superiore, si ottengono valori di RMS inferiori a 5 mm solo nel caso di sessioni di durata almeno oraria; oltre 15 km i risultati ottenuti non sono accettabili per applicazioni di monitoraggio strutturale. E' stato inoltre dimostrato che il periodo di campionamento, pur modificando radicalmente i tempi di calcolo, non influenza in modo significativo la ripetibilità: a parità di lunghezza della sessione di misura, la differenza di RMS tra segnali campionati a 30 secondi e a 2 secondi è stata infatti inferiore al 2%, mentre il tempo di calcolo è aumentato di 14 volte.

### **Abstract**

*NDA Lite is a GPS data processing software developed by Galileian Plus for geophysical monitoring applications. Recently, it was improved in order to be employed for processing measure sessions shorter than 24 hours, keeping enough high measure repeatability. Such improvement was implemented in order to extend the use of such software to structural monitoring applications, which commonly require the identification of displacements (drifts or swings) characterized by sub-centimetre width and periods of few hours.*

*In order to quantify the performance of NDA Lite and to define the optimal configuration of a structural monitoring system, which integrate classic (local) sensors with GPS instrumentation, we realized a study of the repeatability (RMS) of the displacement measures obtained by processing GPS data produced by double-frequency geodetic-level receivers. In details, we investigated the relationship between the repeatability of UP, EAST and NORTH components of the baselines and*

*the distance between the receivers (ranging from 20 meters to 25 kilometres), the length of the measure sessions (ranging from 20 minutes to 24 hours) and the sampling period of the observables (ranging from 2 to 30 seconds). Furthermore, we studied the relationship between NDA Lite processing times and the same parameters.*

*The achieved results demonstrated that, in case of baselines shorter than 1 km, the RMS ranges between 0.2 mm (24 hour sessions) and 2.8 mm (20 minute sessions); in case of longer baselines, RMS is less than 0.5 mm only with sessions of 60 minutes or more; beyond 15 km we obtained results which are not suitable for structural monitoring applications. Furthermore, we demonstrated that increasing the sampling frequency does not imply an improvement of the repeatability and, at the same time, it causes an high increase of the processing times: for each session duration, RMS difference with data sampled at 30 seconds and 2 seconds is less than 2%, whereas the processing time increased of more than 14 times.*

## **Introduzione**

NDA (acronimo per “*Network Deformation Analysis*”) Lite è un pacchetto *software* sviluppato da Galileian Plus S.r.l. per l’analisi di dati GPS acquisiti da reti locali di monitoraggio, originariamente orientato ad applicazioni geofisiche e di protezione civile (monitoraggio frane, monitoraggio geodetico di aree vulcaniche, fenomeni di bradisismo, etc.) (Chersich *et al.*, 2006).

Il *software* permette l’elaborazione di dati GPS in modalità statico-relativa: tale modalità necessita l’acquisizione di dati GPS (segnali di *codice* e *fase*) simultaneamente da due ricevitori, mantenuti in una posizione, supposta fissa durante la sessione di misura (la cui durata è compresa tra qualche decina di minuti e alcune ore). L’elaborazione dei dati viene effettuata in *post-processing* (al termine dell’acquisizione dell’intera sessione di misura) e permette di ricostruire in modo accurato le posizioni relative dei due ricevitori. In particolare, l’*output* dell’elaborazione è rappresentato dalle componenti del vettore congiungente i due ricevitori (vettore linea di base).

In applicazioni di monitoraggio, un ricevitore è collocato al di fuori della regione da monitorare (stazione di riferimento, posta ad esempio al di fuori di un fronte di frana) e si ipotizza che la sua velocità di spostamento sia di entità trascurabile rispetto a quella del fenomeno da monitorare; in caso contrario, la presenza di eventuali spostamenti del ricevitore di riferimento non dovuti al fenomeno in esame deve essere identificata inquadrando lo stesso in una opportuna rete di stazioni di riferimento. Un secondo ricevitore viene posizionato in modo da subire spostamenti solidali con quelli del fenomeno da monitorare (ricevitore *rover*). L’analisi della variazione delle componenti del vettore linea di base nel tempo (in una serie storica di sessioni di misura consecutive) permette di stimare l’evoluzione temporale del fenomeno.

Tipicamente, l’accuratezza delle misure effettuate è inversamente proporzionale alla distanza tra i ricevitori e direttamente proporzionale alla durata della sessione di misura. In applicazioni geofisiche in cui si monitorano fenomeni relativamente lenti, vengono comunemente analizzate sessioni di durata superiore alle 12 ore (tipicamente 24 ore): in queste condizioni, studi preliminari effettuati con NDA Lite su serie storiche di 20 giorni di dati hanno dimostrato ripetibilità (deviazioni standard del campione) comprese tra 0.3 mm per linee di base di circa 1 metro e 7.0 mm per linee di base di 50 km (Chersich *et al.*, 2008). Lo stesso studio ha dimostrato l’efficacia di NDA Lite in un’applicazione reale di monitoraggio geofisico (analisi dell’evoluzione temporale di un fronte di frana).

Recenti sviluppi del *software* hanno permesso di migliorarne le prestazioni in termini di accuratezza anche nel caso di analisi di sessioni di misura di durata inferiore alle 12 ore, fino al caso limite di sessioni di durata oraria o sub-oraria (20-30 minuti). Tali miglioramenti permettono l’utilizzo del *software* anche in scenari diversi dal monitoraggio geofisico: in particolare è stata recentemente avviata una collaborazione tra Galileian Plus ed il Centro Europeo di Formazione e Ricerca in Ingegneria Sismica (EUCENTRE) di Pavia, allo scopo di valutare l’applicabilità di tecniche GPS nel settore del monitoraggio strutturale (monitoraggio di dighe, oscillazioni di ponti o di edifici in muratura). Tali strutture sono tipicamente soggette a spostamenti (derive o oscillazioni) di ampiezza



centimetrica o sub-centimetrica, che possono avvenire anche in periodi di tempo di poche ore (per rilevare le quali è quindi essenziale dover processare sessioni di durata oraria o sub-oraria).

Per comprendere quali sono le condizioni limite di utilizzo di NDA Lite, in termini di durata minima delle sessioni di misura e lunghezza massima delle linee di base, si è valutata la ripetibilità delle misure prodotte nell'analisi di serie storiche di sessioni di diversa durata di segnali GPS registrati simultaneamente da coppie di ricevitori statici, posti a distanza via-via crescente (tra 0 metri e 25 km). Il lavoro presentato in questo articolo descrive la metodologia adottata e i risultati ottenuti nei primi test effettuati.

Un ulteriore fattore che deve essere indagato riguarda la frequenza di campionamento dei segnali GPS che sono processati da NDA Lite. In applicazioni di monitoraggio geofisico, i segnali sono tipicamente acquisiti con periodi di campionamento variabile tra 1 s e 30 s. Al diminuire del periodo di campionamento corrisponde, naturalmente, un aumento della quantità di dati che devono essere acquisiti e trasmessi da ogni ricevitore (è ragionevole ipotizzare che, in un sistema per il monitoraggio strutturale, ogni ricevitore trasmetta in tempo reale o immediatamente al termine della sessione di misura i dati acquisiti ad una stazione di riferimento, in modo tale da permettere il calcolo dello spostamento del ricevitore subito dopo la conclusione della sessione stessa). L'aumento della quantità di dati trasmessi implica un aumento di complessità e costi del sistema di acquisizione dati. La scelta della corretta frequenza di acquisizione rappresenta quindi un elemento importante nella progettazione di un sistema di monitoraggio. Per questo motivo, nell'ambito delle attività preliminari descritte in questo articolo, si è voluta indagare anche la relazione tra la frequenza di campionamento dei dati utilizzati come *input* di NDA Lite e l'accuratezza dei risultati prodotti, in modo tale da giustificare la scelta della frequenza di campionamento ottimale nelle applicazioni che verranno realizzate.

## Metodi

Lo scopo del lavoro descritto in questo articolo è la valutazione di ripetibilità e tempi di calcolo di NDA Lite nell'analisi di serie storiche di sessioni di osservabili GPS, in funzione della lunghezza della linea di base (distanza tra i due ricevitori), della durata delle sessioni di misura e del periodo di campionamento delle osservabili. In particolare, si sono considerate:

- lunghezze di linea di base comprese tra pochi metri e 25 km (distanze superiori non sono generalmente di interesse nel caso di applicazioni di monitoraggio strutturale);
- durata delle sessioni di misura pari a 20, 30, 60, 90, 120, 180, 240, 360, 480, 720 e 1440 minuti (l'analisi di sessioni di durata inferiore a 20 minuti richiede l'applicazione di metodi – e.g. analisi in modalità quasi-statica o GPS-RTK – non implementati in NDA Lite);
- periodi di campionamento delle osservabili GPS di 2, 5, 15, 30 secondi.

Il lavoro realizzato può essere concettualmente diviso in tre fasi distinte.

**1. Acquisizione della base di dati GPS.** Poiché lo scopo dello studio è la quantificazione della ripetibilità della misura di distanza tra coppie di ricevitori statici (il cui movimento reciproco, nel periodo di tempo corrispondente alla serie storica analizzata, è trascurabile rispetto alla sensibilità della misura GPS), si è ipotizzato di utilizzare NDA nell'elaborazione di dati GPS relativi a stazioni incluse in reti permanenti per il monitoraggio GPS. Si è quindi provveduto a ricercare nei *database* pubblici di alcune delle principali reti europee, nazionali e regionali (rete Europea EUREF, Rete Integrata dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, reti GPS delle Regioni Piemonte, Veneto, Friuli Venezia Giulia e Liguria) coppie di ricevitori posti a distanza massima di 25 km, per i quali fossero disponibili serie storiche di almeno 12 giorni consecutivi di dati, possibilmente acquisiti con periodo di campionamento di 1 secondo. Data la ridotta disponibilità di dati campionati con tale periodo, si è deciso di includere nel *database* utilizzato nello studio anche linee di base per le quali erano disponibili solo dati campionati a 30 secondi (periodo più comunemente utilizzato nell'ambito del monitoraggio GPS). Di conseguenza, i dati ad "alta frequenza" sono stati

utilizzati per la valutazione dell'effetto che il periodo di campionamento delle osservabili ha su ripetibilità e tempi di calcolo; i dati campionati a 30 secondi sono stati utilizzati solo per l'analisi della relazione tra durata della sessione di misura e ripetibilità.

**2. Costruzione delle serie storiche di osservabili per ogni linea di base ed elaborazione dei segnali mediante NDA Lite.** Una volta ottenuti i dati GPS necessari, per ogni coppia di ricevitori si è provveduto a costruire serie storiche di osservabili con tutte le combinazioni ammissibili di durata delle sessioni di misura e periodo di campionamento. E' opportuno osservare come, per ottimizzare i tempi di calcolo, NDA Lite implementi algoritmi di sotto-campionamento delle osservabili, prima di procedere all'analisi dei segnali GPS, in funzione della durata delle sessioni da processare e della frequenza di campionamento originale dei file di osservabili. Per questo motivo, le serie storiche relative a determinate combinazioni di durata e periodo di campionamento (i.e. sessioni di durata elevata con segnali ad alta frequenza) non possono essere processate: per ulteriori dettagli relativi a questo aspetto e alle sue implicazioni sulla qualità dell'*output* si rimanda alla discussione dei risultati ottenuti.

Al termine di questa fase, per ogni linea di base, si sono costruite 11 serie storiche per i segnali originariamente campionati a 30 secondi, e 30 serie storiche per i segnali originariamente campionati a 1 secondo. Le serie storiche così ottenute sono state processate mediante la versione corrente di NDA Lite, con le seguenti impostazioni relative al calcolo geodetico:

- utilizzo delle effemeridi *broadcast* (informazioni contenute nei file GPS di navigazione);
- applicazione di un angolo di *cutoff* di 15 gradi sull'elevazione dei satelliti in vista;
- applicazione della correzione del centro di fase dell'antenna (sulla base dei parametri relativi all'antenna contenuti nel *software* e dell'identificativo dell'antenna contenuto nei file di osservazione GPS relativi ad ogni stazione);
- fissaggio delle ambiguità con metodo *lambda*;
- ritardo ionosferico nullo;
- nessuna correzione o stima del ritardo troposferico.

Le ultime due impostazioni, in particolare, sono solitamente utilizzate nell'analisi di linee di base corte. Gli errori introdotti trascurando gli effetti ionosferici e troposferici aumentano infatti all'aumentare della distanza tra i ricevitori che costituiscono la linea di base e diventano sensibili, in particolare, quando tale distanza supera i 5 km e la differenza di quota tra le stazioni è superiore ai 100 m, eventualità poco frequente nell'analisi considerata e, in generale, non specifica di applicazioni di monitoraggio strutturale.

I risultati dell'elaborazione di ogni serie storica vengono salvati da NDA Lite in un *database* in formato proprietario. Dati il numero di linee di base da processare e il numero di serie storiche relative ad ogni linea di base, si è realizzato un semplice *software* (in linguaggio *VB .Net*) in grado di avviare sequenzialmente e in modo automatico ogni elaborazione di NDA Lite e di registrare in un *report* specifico i tempi di elaborazione totali, al termine di ogni esecuzione.

**3. Analisi delle prestazioni di NDA Lite.** Al termine dell'elaborazione di tutte le linee di base, si sono analizzati gli *output* di NDA Lite salvati nei *database* relativi ad ogni serie storica e i tempi complessivi di calcolo contenuti nel report del programma utilizzato per avviare le analisi. In particolare si sono calcolati i seguenti indici, relativi ad ogni serie storica:

- **percentuale di sessioni processate, rispetto al numero di sessioni attese** (il numero di sessioni processate è contenuto nel *database* prodotto da NDA Lite, il numero di sessioni attese è calcolato sulla base del numero di giorni nella serie storica e della durata di ogni sessione). L'impossibilità a produrre una soluzione relativa ad una specifica sessione dipende generalmente dalla mancanza di dati relativi ad una parte consistente della sessione (malfunzionamento del ricevitore o del sistema di trasmissione dati), dal numero ridotto di satelliti in vista durante la sessione (problema evidente in particolare nel caso di sessioni di

durata oraria o sub-oraria), dalla parziale ostruzione del cielo in prossimità del ricevitore, o dalla presenza di dati “rumorosi” (ad esempio a causa di effetti di *multipath* o *tracking error*).

- **percentuale di sessioni in cui NDA Lite completa correttamente il fissaggio delle ambiguità, rispetto al numero di sessioni processate** (il fissaggio o mancato fissaggio delle ambiguità viene specificato, per ogni sessione, nel report prodotto dal *software*). Il mancato fissaggio delle ambiguità dipende generalmente dalla presenza di dati rumorosi e dall’elevato numero di interruzioni nel tracciamento di un satellite (elevato numero di *cycle slips*), ed è più probabile nel caso di sessioni di breve durata.
- **deviazione standard (RMS) del modulo della linea di base e delle relative componenti UP, EST e NORD** (calcolato sulle sessioni in cui vengono fissate le ambiguità). Nello studio presentato si sono prese in considerazione linee di base composte da coppie di ricevitori permanenti in condizioni stabili, ovvero supponendo che, nell’arco di tempo considerato (pochi giorni), la distanza relativa tra gli stessi vari in modo trascurabile rispetto alla sensibilità della misura GPS stessa. In queste condizioni si può ipotizzare che ogni deviazione dal valore effettivo di distanza tra i due ricevitori (qui approssimato con la distanza media misurata nell’intera serie storica) sia dovuta ad errori di misura o di elaborazione dei segnali GPS. Nell’ipotesi che la distribuzione degli errori sia di tipo gaussiano, l’RMS rappresenta un indice valido nella quantificazione dell’entità degli stessi (data una misura  $D$ , la probabilità che la distanza reale tra i due ricevitori sia nell’intervallo  $D \pm \text{RMS}$  è pari al 68%, la probabilità che la distanza reale sia nell’intervallo  $D \pm 1.96 \cdot \text{RMS}$  è pari al 95%, la probabilità che la distanza reale sia nell’intervallo  $D \pm 2.58 \cdot \text{RMS}$  è del 99%). Si presentano, oltre ai risultati relativi al modulo della linea di base, anche i risultati relativi alle componenti verticale (UP) e orizzontali (EST e NORD) della linea di base, in quanto, per natura stessa delle misure GPS, i tre segnali presentano caratteristiche sensibilmente diverse.
- **tempi medi di calcolo di ogni sessione**, ottenuti dividendo il tempo totale di elaborazione di una serie storica e il numero effettivo di sessioni calcolate. Poiché i tempi di calcolo assoluti dipendono in maniera significativa dalle caratteristiche del calcolatore impiegato per l’esecuzione del programma (potenza di calcolo del processore, dimensione della memoria RAM, etc.) i risultati qui riportati sono espressi in termini relativi; in particolare, tutti i tempi medi di calcolo relativi ad una stessa linea di base vengono riferiti al tempo medio di calcolo di una sessione oraria di osservabili campionate a 30 secondi.

## Risultati

La ricerca di coppie di stazioni permanenti poste a distanza relativa compresa tra 0 m a 25 km nei *database* pubblici delle reti di posizionamento citate ha portato all’individuazione di 56 linee di base potenzialmente utili. Tra queste, ne sono state selezionate 17 per le quali sono disponibili serie storiche di 12 o più giorni consecutivi e tali da coprire nel modo più uniforme possibile l’intervallo di distanze considerato. Per 5 coppie di stazioni sono disponibili osservabili GPS con periodo di campionamento pari a 1 s, per le restanti 12 coppie sono disponibili osservabili GPS campionate a 30 s. *Tabella 1* riporta informazioni dettagliate sulle linee di base utilizzate nello studio. La successiva *Tabella 2* riporta dati relativi alla strumentazione (ricevitore e antenna) utilizzata in ogni stazione. La durata media delle serie storiche considerate è di 14 giorni (intervallo 12-15 giorni).

**Percentuali di successo nel calcolo delle soluzioni e ripetibilità delle misure.** I risultati ottenuti, relativamente agli indici di prestazione descritti nella sezione precedente, sono riportati nelle seguenti tabelle. In particolare, *Tabella 3* riporta, per ogni linea di base, la percentuale di sessioni in cui NDA Lite produce una soluzione; *Tabella 4* riporta le percentuali di sessioni in cui NDA Lite produce una soluzione con ambiguità fissata. Le successive *Tabelle 5, 7, 8 e 9* riportano i valori di RMS (espressi in mm) relativi al modulo delle linee di base e alle componenti UP, EST e NORD. *Figura 6* riporta graficamente l’andamento del parametro RMS del modulo della linea di base, in funzione della durata delle sessioni di misura, per alcune delle linee di base analizzate.

| Linea di Base | Rete Staz.<br>1 <sup>i</sup> | Rete Staz.<br>2 | Periodo<br>Oss. [s] | Durata Serie<br>Storica [gg] | Modulo<br>[m] | Comp. UP<br>[m] | Comp. EST<br>[m] | Comp. NORD<br>[m] |
|---------------|------------------------------|-----------------|---------------------|------------------------------|---------------|-----------------|------------------|-------------------|
| ZIMM-ZIM2     | 1                            | 1               | 30                  | 15                           | 18.76727      | 0.20807         | -18.76145        | -0.41849          |
| HERT-HERS     | 1                            | 1               | 30                  | 15                           | 136.45360     | -6.78952        | 135.03296        | -18.42789         |
| PAVI-EUCE     | 2                            | 7               | 1                   | 12                           | 156.30975     | -0.15850        | -122.03971       | -97.66792         |
| AQUI-INGP     | 1                            | 3               | 30                  | 15                           | 3264.24392    | 17.97992        | -2854.10242      | 1584.00267        |
| GENO-GENU     | 1                            | 4               | 30                  | 15                           | 3564.19955    | -29.06821       | 3042.56900       | -1856.19162       |
| KIRO-KIRU     | 1                            | 1               | 30                  | 15                           | 4473.10625    | -108.67327      | -3862.77727      | -2252.95837       |
| SDNA-NOVE     | 5                            | 6               | 1                   | 15                           | 4688.00431    | -20.62219       | 1887.96802       | 4290.98309        |
| TORI-IENG     | 2                            | 1               | 1                   | 15                           | 5631.09620    | 3.21194         | -1724.51410      | -5360.53031       |
| TLMF-TLSE     | 1                            | 1               | 30                  | 14                           | 8685.55773    | -19.77863       | 8547.86127       | -1540.32122       |
| MSTR-VE01     | 5                            | 5               | 1                   | 15                           | 9492.88679    | -10.94289       | 7456.10678       | -5875.47883       |
| BRST-GUIP     | 1                            | 1               | 30                  | 15                           | 9498.28705    | 81.81748        | 6271.93503       | 7132.57274        |
| BORC-AFAL     | 5                            | 6               | 30                  | 12                           | 10624.73658   | 1286.32236      | -3347.52258      | 10001.22466       |
| MLVL-SMNE     | 1                            | 1               | 30                  | 15                           | 11918.61997   | -45.35680       | -11912.17227     | 389.35406         |
| MDOR-SJDV     | 1                            | 1               | 30                  | 15                           | 13601.31326   | 87.24062        | -10277.78964     | 8908.15086        |
| ZOUF-FUSE     | 6                            | 6               | 1                   | 13                           | 16105.08285   | -1384.74554     | 2121.66662       | -15904.54980      |
| PADO-TEOL     | 5                            | 5               | 30                  | 12                           | 18748.63543   | 111.24223       | -17148.42352     | -7578.29312       |
| BOLG-MEDI     | 1                            | 1               | 30                  | 15                           | 23167.26128   | -91.66727       | 23059.05782      | 2234.60172        |

Reti GPS utilizzate per l'acquisizione delle serie storiche di dati impiegate nello studio (e relativi siti web):

- |   |                                         |                                                                                                                                         |
|---|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Rete Permanente EUREF                   | <a href="http://epncb.oma.be/">http://epncb.oma.be/</a>                                                                                 |
| 2 | Rete GPS della Regione Piemonte         | <a href="http://gnss.regione.piemonte.it/frmIndex.aspx">http://gnss.regione.piemonte.it/frmIndex.aspx</a>                               |
| 3 | Rete Integrata Nazionale INGV           | <a href="http://ring.gm.ingv.it/">http://ring.gm.ingv.it/</a>                                                                           |
| 4 | Rete GPS della Regione Liguria          | <a href="http://www.gnssliguria.it/">http://www.gnssliguria.it/</a>                                                                     |
| 5 | Rete GPS della Regione Veneto           | <a href="http://147.162.229.63/Web/">http://147.162.229.63/Web/</a>                                                                     |
| 6 | Rete GPS FReDNet                        | <a href="http://www.crs.inogs.it/frednet/ItalianSite/XFReDNetHome.htm">http://www.crs.inogs.it/frednet/ItalianSite/XFReDNetHome.htm</a> |
| 7 | Ricevitore installato da Galileian Plus |                                                                                                                                         |

*Tabella 1 – Caratteristiche delle linee di base utilizzate nello studio.*

| Linea di Base | Ricevitore Base    | Antenna Base      | Ricevitore Rover   | Antenna Rover     |
|---------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| ZIMM-ZIM2     | TRIMBLE NETRS      | TRM29659.00 NONE  | TRIMBLE NETR5      | TRM59800.00 NONE  |
| HERT-HERS     | Leica GRX1200GGPRO | LEIAT504GG NONE   | SEPT POLARX3ETR    | LEIAR25.R3 NONE   |
| PAVI-EUCE     | LEICA GRX1200PRO   | LEIAT504          | TPS NET-G3         | TPSCR3_GGD CONE   |
| AQUI-INGP     | TRIMBLE 4700       | TRM29659.00 NONE  | Leica GRX1200GGPRO | LEIAT504 LEIS     |
| GENO-GENU     | TRIMBLE 4000SSI    | TRM29659.00 NONE  | TPS NETG3          | TPSCR.G3 TPESH    |
| KIRO-KIRU     | JPS EGGDT          | AOAD/M_T OSOD     | ASHTech UZ-12      | ASH701945C_M Snow |
| SDNA-NOVE     | Leica GRX1200GGPRO | LEIAT504GG LEIS   | TPS GB-1000        | TPSCR3_GGD CONE   |
| TORI-IENG     | Leica GRX1200+GNSS | LEIAR25.R3 NONE   | ASHTech Z-XII3T    | ASH701945C_M      |
| TLMF-TLSE     | Leica GRX1200GGPRO | LEIAT504GG LEIS   | TRIMBLE NETR9      | TRM59800.00 NONE  |
| MSTR-VE01     | LEICA SR510        | TRM55971.00 NONE  | TRIMBLE 4700       | TRM33429.00-GP    |
| BRST-GUIP     | Leica GRX1200GGPRO | LEIAT504GG NONE   | Leica GRX1200GGPRO | LEIAT504GG LEIS   |
| BORC-AFAL     | Leica GRX1200GGPRO | LEIAT504 LEIS     | TPS GB-1000        | ASH701945E_M SCIT |
| MLVL-SMNE     | TRIMBLE NETR5      | TRM55971.00 NONE  | TRIMBLE NETR9      | TRM55971.00 NONE  |
| MDOR-SJDV     | TRIMBLE NETR5      | TRM55971.00 NONE  | TRIMBLE NETRS      | ASH700936A_M      |
| ZOUF-FUSE     | TPS GB-1000        | ASH701945C_M SCIT | TPS GB-1000        | ASH701945E_M SCIT |
| PADO-TEOL     | TRIMBLE NETRS      | TRM29659.00 NONE  | LEICA GRX1200PRO   | LEIAT504 SCIT     |
| BOLG-MEDI     | LEICA SR9500       | LEIAT302+GP NONE  | TRIMBLE 4000SSI    | TRM29659.00 NONE  |

*Tabella 2 – Strumentazione GPS delle stazioni considerate.*

| Linea di Base | Lunghezza sessioni [min] |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |
|---------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
|               | 1440                     | 720   | 480   | 360   | 240   | 180   | 120   | 90    | 60    | 30   | 20   |
| ZIMM-ZIM2     | 93.3                     | 93.3  | 95.6  | 96.7  | 96.7  | 96.7  | 97.2  | 96.3  | 97.8  | 96.8 | 96.7 |
| HERT-HERS     | 100.0                    | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 99.7 | 99.4 |
| PAVI-EUCE     | 100.0                    | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 98.8 | 99.4 |
| AQUI-INGP     | 100.0                    | 100.0 | 100.0 | 96.7  | 95.6  | 96.7  | 95.6  | 95.8  | 95.0  | 83.6 | 83.5 |
| GENO-GENU     | 100.0                    | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 99.6  | 100.0 | 99.0 | 99.2 |
| KIRO-KIRU     | 100.0                    | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 98.9 | 99.2 |
| SDNA-NOVE     | 100.0                    | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 99.7  | 99.9 | 99.2 |
| TORI-IENG     | 100.0                    | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 99.0 | 97.9 |
| TLMF-TLSE     | 100.0                    | 96.4  | 97.6  | 98.2  | 98.8  | 98.2  | 98.8  | 98.7  | 99.1  | 98.4 | 97.9 |
| MSTR-VE01     | 100.0                    | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 99.6  | 99.4  | 98.3 | 97.5 |
| BRST-GUIP     | 100.0                    | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 99.2  | 98.3  | 98.3  | 98.1  | 97.4 | 97.1 |
| BORC-AFAL     | 100.0                    | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 99.3  | 98.4  | 96.5  | 88.6 | 87.8 |
| MLVL-SMNE     | 100.0                    | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 99.6  | 99.2  | 99.0 | 98.2 |
| MDOR-SJDV     | 100.0                    | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 99.2 | 99.2 |
| ZOUF-FUSE     | 93.3                     | 96.7  | 97.8  | 98.3  | 98.9  | 99.2  | 98.9  | 99.6  | 99.2  | 99.2 | 98.4 |
| PADO-TEOL     | 100.0                    | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 98.6  | 99.3 | 98.6 |
| BOLG-MEDI     | 100.0                    | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 99.2  | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 99.2 | 99.1 |

Tabella 3 – Percentuale di sessioni per le quali NDA produce una soluzione.

| Linea di Base | Lunghezza sessioni [min] |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
|---------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
|               | 1440                     | 720   | 480   | 360   | 240   | 180   | 120   | 90    | 60   | 30   | 20   |
| ZIMM-ZIM2     | 100.0                    | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 99.1 | 98.9 | 98.2 |
| HERT-HERS     | 100.0                    | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 99.4 | 98.1 | 95.4 |
| PAVI-EUCE     | 100.0                    | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 99.3  | 99.5  | 99.3 | 98.4 | 97.6 |
| AQUI-INGP     | 100.0                    | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 98.8  | 99.6  | 96.2 | 86.2 | 78.7 |
| GENO-GENU     | 100.0                    | 96.7  | 97.8  | 98.3  | 97.8  | 99.2  | 99.4  | 99.2  | 98.6 | 94.2 | 87.9 |
| KIRO-KIRU     | 100.0                    | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 99.2 | 96.9 | 94.9 |
| SDNA-NOVE     | 100.0                    | 96.7  | 100.0 | 100.0 | 98.9  | 99.2  | 99.4  | 99.6  | 98.9 | 92.1 | 79.9 |
| TORI-IENG     | 100.0                    | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 99.4  | 98.8  | 95.8 | 85.6 | 71.3 |
| TLMF-TLSE     | 100.0                    | 100.0 | 97.6  | 98.2  | 98.8  | 99.1  | 99.4  | 99.5  | 97.3 | 95.2 | 88.2 |
| MSTR-VE01     | 100.0                    | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 98.9  | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 99.4 | 91.7 | 80.9 |
| BRST-GUIP     | 100.0                    | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 99.6  | 99.4 | 95.6 | 89.6 |
| BORC-AFAL     | 100.0                    | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 98.6  | 99.0  | 99.3  | 96.8  | 87.8 | 68.0 | 54.7 |
| MLVL-SMNE     | 100.0                    | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 98.9  | 97.9  | 96.6 | 90.5 | 80.3 |
| MDOR-SJDV     | 93.3                     | 96.7  | 93.3  | 95.0  | 96.7  | 97.5  | 98.3  | 97.1  | 95.3 | 81.1 | 65.0 |
| ZOUF-FUSE     | 100.0                    | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 99.4  | 97.5  | 91.9 | 65.7 | 48.8 |
| PADO-TEOL     | 100.0                    | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 98.6  | 98.4  | 92.6 | 70.8 | 54.3 |
| BOLG-MEDI     | 100.0                    | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 95.6  | 90.8  | 68.3 | 31.9 | 21.5 |

Tabella 4 – Percentuale di sessioni per le quali NDA fissa l'ambiguità, rispetto al numero di sessioni in cui produce una soluzione.

**Relazione tra periodo di campionamento, ripetibilità della misura e tempi di calcolo.** Tabella 9 riassume i valori di RMS (espressi in millimetri) e i tempi medi di calcolo in funzione della durata delle sessioni processate e del periodo di campionamento delle osservabili, per una delle linee di base per cui erano disponibili osservabili ad alta frequenza (linea di base PAVI-EUCE). I risultati ottenuti con questa linea di base sono del tutto assimilabili ai risultati ottenuti con le restanti linee di base ad alta frequenza.

| Modulo linea di base | Lunghezza sessioni [min] |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------------|--------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                      | 1440                     | 720   | 480   | 360   | 240    | 180    | 120    | 90     | 60     | 30     | 20     |
| ZIMM-ZIM2            | 0.176                    | 0.346 | 0.332 | 0.464 | 0.519  | 0.648  | 0.730  | 0.858  | 0.944  | 1.135  | 1.278  |
| HERT-HERS            | 0.348                    | 0.989 | 0.846 | 1.155 | 1.217  | 1.224  | 1.377  | 1.498  | 1.676  | 2.016  | 2.277  |
| PAVI-EUCE            | 0.493                    | 0.536 | 1.137 | 0.795 | 1.230  | 1.440  | 1.536  | 1.809  | 2.204  | 2.708  | 2.872  |
| AQUI-INGP            | 1.134                    | 2.139 | 2.142 | 2.972 | 3.413  | 3.637  | 4.268  | 4.371  | 4.547  | 4.993  | 32.462 |
| GENO-GENU            | 1.363                    | 1.384 | 1.588 | 1.837 | 2.237  | 2.411  | 3.067  | 3.306  | 3.653  | 7.358  | 10.778 |
| KIRO-KIRU            | 0.766                    | 1.394 | 1.719 | 2.069 | 2.055  | 1.949  | 2.132  | 2.356  | 2.801  | 3.442  | 3.747  |
| SDNA-NOVE            | 1.342                    | 1.434 | 2.175 | 2.647 | 2.871  | 3.269  | 4.010  | 4.316  | 4.730  | 6.130  | 9.462  |
| TORI-IENTG           | 2.693                    | 3.357 | 3.498 | 4.538 | 4.938  | 5.300  | 6.291  | 6.759  | 7.657  | 12.444 | 28.530 |
| TLMF-TLSE            | 1.160                    | 2.374 | 2.918 | 3.064 | 3.443  | 3.923  | 4.096  | 4.515  | 4.609  | 5.402  | 19.006 |
| MSTR-VE01            | 0.603                    | 0.870 | 1.255 | 1.195 | 1.495  | 1.566  | 1.894  | 2.142  | 2.623  | 3.683  | 4.092  |
| BRST-GUIP            | 1.515                    | 2.415 | 3.167 | 3.409 | 3.771  | 4.034  | 4.398  | 4.820  | 5.247  | 6.200  | 6.507  |
| BORC-AFAL            | 3.045                    | 4.560 | 6.610 | 8.386 | 7.874  | 9.416  | 10.760 | 10.700 | 11.212 | 48.609 | 59.257 |
| MLVL-SMNE            | 1.832                    | 2.454 | 3.219 | 3.725 | 4.281  | 4.536  | 4.994  | 5.291  | 9.816  | 9.732  | 9.832  |
| MDOR-SJDV            | 1.927                    | 2.422 | 3.952 | 4.082 | 5.423  | 5.685  | 6.593  | 6.617  | 7.197  | 7.555  | 56.077 |
| ZOUF-FUSE            | 5.586                    | 7.113 | 7.098 | 9.363 | 10.273 | 10.859 | 11.843 | 11.649 | 11.760 | 11.118 | 30.006 |
| PADO-TEOL            | 2.324                    | 3.097 | 4.735 | 5.231 | 6.210  | 6.384  | 7.426  | 8.137  | 8.653  | 10.636 | 40.057 |
| BOLG-MEDI            | 3.687                    | 5.321 | 6.582 | 7.607 | 8.512  | 8.857  | 9.927  | 10.750 | 15.924 | 22.651 | 70.838 |

Tabella 5 – RMS [mm] del modulo della linea di base in funzione della durata delle sessioni.

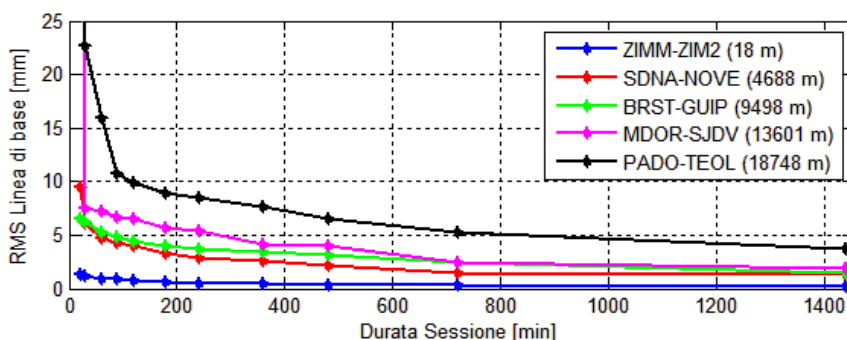


Figura 6 – Ripetibilità in funzione della durata delle sessioni processate per alcune linee di base di diversa lunghezza.

## Discussione

**Relazione tra durata delle sessioni e percentuale di soluzioni prodotte.** In tutte le serie storiche, la percentuale di soluzioni processate correttamente da NDA Lite è superiore al 93%, con le uniche eccezioni delle linee di base AQUI-INGP e BORC-AFAL (caratterizzate da percentuali inferiori a 90% nel caso di sessioni di durata inferiore a 60 minuti – Tabella 3). L'esame dei file di osservabili GPS relativi alle sessioni non processate ha permesso di identificare la causa della mancata produzione delle soluzioni nella presenza di numerose interruzioni nelle acquisizioni. Questo fatto implica da un lato l'assenza di porzioni consistenti di dati nei file (rilevante in particolare nel caso di sessioni brevi) e, dall'altro, la presenza di numerose sequenze di osservazioni consecutive relativamente brevi, scartate dal *software* prima di effettuare il calcolo geodetico: nella quasi totalità dei casi, quindi, l'elaborazione viene interrotta a causa della presenza di una quantità di dati insufficiente per poter stimare la posizione dei ricevitori.



| Componente UP | Lunghezza sessioni [min] |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|---------------|--------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|               | 1440                     | 720    | 480    | 360    | 240    | 180    | 120    | 90     | 60     | 30     | 20     |
| ZIMM-ZIM2     | 0.111                    | 0.240  | 0.391  | 0.594  | 0.677  | 0.835  | 1.162  | 1.232  | 1.823  | 2.417  | 2.856  |
| HERT-HERS     | 0.360                    | 0.734  | 0.904  | 1.197  | 1.672  | 2.028  | 2.633  | 3.358  | 4.222  | 6.506  | 8.013  |
| PAVI-EUCE     | 0.787                    | 1.153  | 1.223  | 1.388  | 1.693  | 1.718  | 2.542  | 2.682  | 3.529  | 5.339  | 6.101  |
| AQUI-INGP     | 3.691                    | 4.582  | 7.490  | 6.465  | 8.437  | 8.236  | 8.610  | 9.895  | 10.611 | 12.540 | 90.346 |
| GENO-GENU     | 4.842                    | 5.881  | 6.552  | 6.921  | 7.926  | 8.687  | 9.109  | 10.073 | 10.392 | 31.208 | 55.413 |
| KIRO-KIRU     | 2.465                    | 3.828  | 3.856  | 5.337  | 5.391  | 5.232  | 6.013  | 6.471  | 7.771  | 9.787  | 10.798 |
| SDNA-NOVE     | 2.493                    | 4.042  | 4.727  | 5.503  | 5.479  | 6.725  | 6.802  | 7.913  | 8.474  | 11.295 | 18.953 |
| TORI-IENG     | 3.975                    | 5.377  | 6.606  | 7.025  | 8.013  | 8.139  | 9.533  | 10.359 | 11.879 | 16.233 | 83.988 |
| TLMF-TLSE     | 3.454                    | 5.400  | 5.719  | 6.495  | 7.047  | 7.805  | 8.723  | 9.008  | 10.127 | 11.797 | 11.637 |
| MSTR-VE01     | 1.726                    | 2.661  | 2.843  | 3.413  | 3.725  | 4.184  | 4.498  | 5.707  | 6.530  | 9.744  | 12.939 |
| BRST-GUIP     | 4.233                    | 4.935  | 5.712  | 5.914  | 6.854  | 7.391  | 8.013  | 9.007  | 9.442  | 10.758 | 11.623 |
| BORC-AFAL     | 24.953                   | 31.558 | 36.163 | 39.901 | 37.606 | 64.910 | 58.260 | 40.215 | 39.343 | 66.373 | 75.020 |
| MLVL-SMNE     | 5.676                    | 6.439  | 6.813  | 7.769  | 8.979  | 10.214 | 11.334 | 12.097 | 14.373 | 12.564 | 13.951 |
| MDOR-SJDV     | 11.331                   | 12.769 | 14.861 | 14.652 | 17.291 | 18.165 | 19.712 | 19.835 | 21.218 | 21.591 | 46.280 |
| ZOUF-FUSE     | 21.612                   | 24.454 | 28.757 | 29.807 | 31.014 | 31.720 | 32.152 | 32.195 | 32.667 | 29.835 | 46.665 |
| PADO-TEOL     | 9.965                    | 12.550 | 13.544 | 15.102 | 16.206 | 16.972 | 18.904 | 19.845 | 21.819 | 24.249 | 37.846 |
| BOLG-MEDI     | 13.015                   | 16.013 | 21.154 | 22.000 | 24.796 | 28.293 | 31.115 | 28.328 | 32.029 | 34.495 | 64.780 |

Tabella 7 – RMS [mm] componente UP della linea di base in funzione della durata delle sessioni.

| Componente EST | Lunghezza sessioni [min] |       |       |       |       |        |        |        |        |        |        |
|----------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                | 1440                     | 720   | 480   | 360   | 240   | 180    | 120    | 90     | 60     | 30     | 20     |
| ZIMM-ZIM2      | 0.174                    | 0.348 | 0.335 | 0.463 | 0.527 | 0.651  | 0.729  | 0.854  | 0.934  | 1.124  | 1.267  |
| HERT-HERS      | 0.335                    | 0.999 | 0.822 | 1.183 | 1.225 | 1.254  | 1.390  | 1.497  | 1.668  | 2.025  | 2.263  |
| PAVI-EUCE      | 0.597                    | 0.698 | 1.326 | 1.127 | 1.505 | 1.447  | 1.688  | 1.817  | 2.061  | 2.441  | 2.567  |
| AQUI-INGP      | 1.362                    | 2.063 | 2.485 | 2.599 | 3.238 | 3.374  | 4.061  | 4.257  | 4.471  | 4.713  | 53.889 |
| GENO-GENU      | 1.279                    | 1.548 | 1.662 | 2.002 | 2.345 | 2.479  | 3.038  | 3.108  | 3.391  | 98.458 | 10.679 |
| KIRO-KIRU      | 0.751                    | 1.038 | 1.255 | 1.404 | 1.495 | 1.598  | 1.738  | 2.072  | 2.406  | 2.892  | 3.151  |
| SDNA-NOVE      | 1.210                    | 1.719 | 2.195 | 2.340 | 2.365 | 2.538  | 3.031  | 3.091  | 3.636  | 4.559  | 22.434 |
| TORI-IENG      | 0.966                    | 1.479 | 2.007 | 2.222 | 2.839 | 3.104  | 3.736  | 4.514  | 4.864  | 8.004  | 10.866 |
| TLMF-TLSE      | 1.066                    | 2.360 | 2.985 | 3.097 | 3.513 | 3.901  | 4.105  | 4.475  | 4.693  | 5.454  | 18.962 |
| MSTR-VE01      | 0.605                    | 0.744 | 1.297 | 1.163 | 1.414 | 1.667  | 1.913  | 2.323  | 2.811  | 3.642  | 3.798  |
| BRST-GUIP      | 1.486                    | 2.060 | 2.489 | 2.702 | 2.861 | 3.044  | 3.255  | 3.398  | 3.877  | 4.099  | 4.348  |
| BORC-AFAL      | 1.874                    | 2.140 | 3.188 | 3.941 | 4.357 | 18.167 | 15.243 | 5.553  | 5.651  | 66.595 | 68.679 |
| MLVL-SMNE      | 1.842                    | 2.443 | 3.230 | 3.728 | 4.291 | 4.543  | 4.999  | 5.306  | 7.753  | 9.721  | 9.834  |
| MDOR-SJDV      | 1.563                    | 2.576 | 3.398 | 3.879 | 4.728 | 5.058  | 5.859  | 5.867  | 6.710  | 6.773  | 55.756 |
| ZOUF-FUSE      | 1.870                    | 2.683 | 2.734 | 2.986 | 3.728 | 4.319  | 4.924  | 5.337  | 5.941  | 6.654  | 49.835 |
| PADO-TEOL      | 2.105                    | 2.862 | 4.367 | 4.524 | 5.683 | 5.691  | 6.516  | 7.146  | 7.448  | 10.561 | 43.725 |
| BOLG-MEDI      | 3.589                    | 5.337 | 6.464 | 7.432 | 8.321 | 8.659  | 9.682  | 10.519 | 15.038 | 21.936 | 70.813 |

Tabella 8 – RMS [mm] componente EST della linea di base in funzione della durata delle sessioni.

Osservando i risultati mostrati in Tabella 4 si deduce come la percentuale di sessioni in cui NDA Lite stima l'ambiguità sia influenzata da tre distinti fattori:

- durata delle sessioni: per ogni linea di base, la percentuale di soluzioni ad ambiguità fissata decresce sistematicamente con il ridursi della durata delle sessioni analizzate. Se, nel caso di sessioni giornaliere, la percentuale di sessioni accurate è sempre pari al 100% (fa eccezione la linea di base MDOR-SJDV, nella quale la stima dell'ambiguità fallisce in un caso su 15),

| Componente<br>NORD | Lunghezza sessioni [min] |       |       |       |        |        |        |        |        |        |        |
|--------------------|--------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                    | 1440                     | 720   | 480   | 360   | 240    | 180    | 120    | 90     | 60     | 30     | 20     |
| ZIMM-ZIM2          | 0.127                    | 0.214 | 0.570 | 0.345 | 0.784  | 0.706  | 0.860  | 0.889  | 1.010  | 1.197  | 1.435  |
| HERT-HERS          | 0.367                    | 0.453 | 0.539 | 0.737 | 0.690  | 0.932  | 1.192  | 1.559  | 2.000  | 2.717  | 3.474  |
| PAVI-EUCE          | 0.254                    | 0.339 | 0.522 | 0.459 | 0.955  | 1.048  | 1.458  | 1.793  | 2.153  | 2.751  | 2.993  |
| AQUI-INGP          | 1.073                    | 2.502 | 3.104 | 3.024 | 5.022  | 4.117  | 4.553  | 4.795  | 5.447  | 6.433  | 32.347 |
| GENO-GENU          | 1.568                    | 1.841 | 2.115 | 2.253 | 2.526  | 2.816  | 3.140  | 3.619  | 4.244  | 75.059 | 11.253 |
| KIRO-KIRU          | 0.915                    | 1.471 | 1.707 | 2.256 | 2.234  | 1.968  | 2.337  | 2.467  | 2.990  | 3.708  | 4.135  |
| SDNA-NOVE          | 1.189                    | 1.333 | 1.731 | 2.567 | 2.890  | 3.352  | 3.916  | 4.366  | 4.719  | 5.952  | 8.655  |
| TORI-IENG          | 2.587                    | 3.260 | 3.416 | 4.549 | 4.848  | 5.387  | 6.297  | 6.769  | 7.587  | 14.482 | 31.697 |
| TLMF-TLSE          | 1.282                    | 1.780 | 1.915 | 2.031 | 2.605  | 3.364  | 3.920  | 4.267  | 4.793  | 5.912  | 5.950  |
| MSTR-VE01          | 0.896                    | 1.141 | 1.461 | 1.569 | 1.911  | 1.945  | 2.307  | 2.560  | 3.110  | 4.668  | 5.584  |
| BRST-GUIP          | 1.597                    | 2.328 | 3.195 | 3.369 | 3.809  | 4.080  | 4.508  | 4.942  | 5.324  | 6.484  | 6.898  |
| BORC-AFAL          | 3.096                    | 3.691 | 5.280 | 7.987 | 6.729  | 8.109  | 9.483  | 9.743  | 10.529 | 37.274 | 49.496 |
| MLVL-SMNE          | 1.174                    | 2.683 | 3.369 | 4.063 | 4.191  | 4.243  | 4.948  | 4.565  | 5.867  | 6.234  | 6.311  |
| MDOR-SJDV          | 2.085                    | 2.625 | 3.779 | 3.832 | 4.685  | 4.844  | 5.666  | 6.166  | 6.571  | 7.279  | 22.616 |
| ZOUF-FUSE          | 5.717                    | 7.400 | 7.346 | 9.710 | 10.602 | 11.038 | 12.054 | 11.881 | 11.890 | 11.415 | 28.784 |
| PADO-TEOL          | 2.481                    | 2.852 | 3.556 | 4.465 | 5.069  | 5.634  | 6.679  | 7.608  | 8.537  | 9.642  | 29.239 |
| BOLG-MEDI          | 3.211                    | 4.354 | 5.396 | 6.613 | 7.844  | 8.080  | 9.119  | 10.500 | 15.823 | 15.503 | 33.185 |

Tabella 9 – RMS [mm] componente NORD della linea di base in funzione della durata delle sessioni.

| Lunghezza<br>Sessioni [min] | RMS modulo linea di base [mm] |       |       |       | Tempi relativi di calcolo <sup>2</sup> |      |      |      |
|-----------------------------|-------------------------------|-------|-------|-------|----------------------------------------|------|------|------|
|                             | Periodo [s]                   |       |       |       | Periodo [s]                            |      |      |      |
|                             | 30                            | 15    | 5     | 2     | 30                                     | 15   | 5    | 2    |
| 1440                        | 0.493                         | -     | -     | -     | 30.3                                   | -    | -    | -    |
| 720                         | 0.536                         | -     | -     | -     | 9.4                                    | -    | -    | -    |
| 480                         | 1.137                         | 1.119 | -     | -     | 5.4                                    | 12.1 | -    | -    |
| 360                         | 0.795                         | 0.784 | -     | -     | 4.0                                    | 9.1  | -    | -    |
| 240                         | 1.230                         | 1.208 | -     | -     | 2.4                                    | 5.5  | -    | -    |
| 180                         | 1.440                         | 1.417 | 1.415 | -     | 1.8                                    | 3.8  | 13.6 | -    |
| 120                         | 1.536                         | 1.536 | 1.528 | -     | 1.5                                    | 3.1  | 11.0 | -    |
| 90                          | 1.809                         | 1.827 | 1.809 | 1.822 | 1.3                                    | 2.4  | 6.1  | 21.3 |
| 60                          | 2.204                         | 2.174 | 2.150 | 2.162 | 1.0                                    | 1.8  | 4.5  | 13.5 |
| 30                          | 2.708                         | 2.675 | 2.639 | 2.633 | 0.9                                    | 1.6  | 3.6  | 10.4 |
| 20                          | 2.872                         | 2.818 | 2.828 | 2.815 | 0.9                                    | 1.6  | 3.4  | 10.3 |

Tabella 10 – Linea di base PAVI-EUCE: ripetibilità della misura in funzione di durata sessioni e periodo di campionamento delle osservabili GPS.

nel caso di sessioni sub-orarie si ottengono generalmente soluzioni ad ambiguità fissata in meno del 90% dei casi.

- lunghezza della linea di base: nel caso di sessioni brevi (orarie e sub-orarie), la percentuale di soluzioni ad ambiguità fissata diminuisce all'aumentare della distanza tra i ricevitori. Analizzando, a titolo di esempio, i risultati ottenuti sulle serie storiche di 20 minuti, si osserva come la percentuale di sessioni ad ambiguità fissata si riduca da valori superiori al 95% per linee di base di poche centinaia di metri di lunghezza, fino a valori inferiori al 55% per linee di base di lunghezza maggiore di 15 km.

- differenza di quota tra i ricevitori: mettendo in relazione le percentuali riportate in *Tabella 4* con le caratteristiche delle linee di base analizzate (*Tabella 1*), si osserva come i risultati “peggiori” si ottengono per le linee di base di lunghezza superiore a 5 km e caratterizzate da una differenza di quota significativa tra i ricevitori (oltre 1200 metri, nel caso di BORG-AFAL e ZOUF-FUSE). Le cause della poca “efficienza” del *software* nella stima di linee di base con sensibili differenze in quota devono essere ricercate nel tipo di modelli algoritmici implementati da NDA Lite (modelli di stima degli effetti della troposfera sulla propagazione del segnale GPS). Come descritto in seguito, la differenza di quota riveste un ruolo importante anche nella diminuzione della ripetibilità delle soluzioni ottenute.

**Relazione tra ripetibilità e lunghezza della linea di base.** I risultati sperimentali permettono di definire la relazione esistente tra lunghezza della linea di base e ripetibilità della misura. I dati più significativi riportati nelle tabelle sono mostrati anche in *Figura 10*, dove è mostrato l'andamento della ripetibilità in funzione della lunghezza della linea di base, nel caso di serie storiche di sessioni giornaliere (pannello di sinistra) e di 30 minuti (pannello di destra): in entrambi i casi è evidente la relazione di proporzionalità diretta tra lunghezza della linea di base e ripetibilità. I grafici riportano anche le rette interpolanti ai minimi quadrati:

$$\begin{aligned} RMS_{1440\min} &= 0.1132 \cdot D + 0.5412 \\ RMS_{30\min} &= 0.6312 \cdot D + 2.1468 \end{aligned} \quad (1)$$

dove RMS è espressa in millimetri e D (lunghezza della linea di base) è espressa in km. Nell'ipotesi di distribuzione gaussiana degli errori, se è richiesta l'identificazione di uno spostamento di 5 mm con il 95% di probabilità, la massima RMS tollerabile è pari a  $5/1.96 = 2.55$  mm. Indicativamente, applicando le equazioni (1), la massima distanza ammessa tra i ricevitori è pari a 17.7 km nel caso si analizzino spostamenti medi su sessioni giornaliere, solo 0.6 km nel caso si analizzino sessioni di durata 30 minuti.

**Ripetibilità della misura nel caso di linee di base con componente verticale non trascurabile rispetto alla distanza complessiva tra i ricevitori.** È comunque evidente dai grafici riportati in *Figura 11* e dai dati riportati in *Tabella 5* come l'analisi delle linee di base caratterizzate da una marcata differenza di quota tra i ricevitori (BORG-AFAL e ZOUF-FUSE, i cui valori di RMS sono

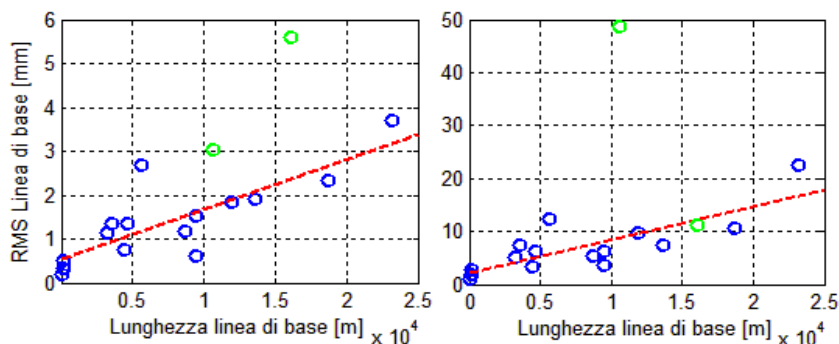


*Figura 11 – RMS relativo al modulo della linea di base in funzione della distanza tra i ricevitori, nel caso di sessioni giornaliere (pannello di sinistra) e di 30 minuti (pannello di destra). I grafici riportano anche le rette interpolanti ai minimi quadrati. Si sono escluse dall'analisi le linee di base con componente UP non trascurabile (marker verdi nei grafici).*

riportati con *marker* verdi nei grafici) produca risultati sensibilmente meno precisi rispetto a quelli ottenuti nell'analisi di linee di base con modulo simile ma componente verticale trascurabile. Per questo motivo, i risultati sperimentali delle due linee di base non sono stati utilizzati nella stima dei parametri della retta interpolante riportati nelle equazioni (1). Inoltre, questi risultati dovrebbero essere attentamente presi in considerazione nella scelta del posizionamento relativo tra ricevitore di riferimento e ricevitore *rover* in applicazioni di monitoraggio. Come già riportato in precedenza, questo risultato può essere spiegato sulla base dei modelli algoritmici implementati da NDA Lite nella stima degli effetti troposferici sulla propagazione del segnale GPS nel caso di differenze di quota così marcate.

#### **Effetto della frequenza di campionamento delle osservabili su ripetibilità e tempi di calcolo.**

L'ultimo aspetto preso in considerazione riguarda la relazione tra ripetibilità della misura e tempi di calcolo della soluzione. I risultati ottenuti dimostrano come, all'aumentare della frequenza di campionamento, non corrisponda un miglioramento significativo della ripetibilità della misura (differenze massime di RMS inferiori a 0.1 mm – corrispondenti a circa il 2% – tra soluzioni calcolate su dati a 30 s e su dati a 2 s, a parità di durata della sessione), a fronte di un sostanziale aumento dei tempi di calcolo da parte di NDA Lite (il calcolo di una soluzione oraria con dati campionati a 2 s richiede mediamente un tempo 14.8 volte maggiore rispetto al calcolo della stessa soluzione oraria con dati campionati a 30 s).

#### **Conclusioni**

I risultati riportati nelle sezioni precedenti dimostrano come le prestazioni del *software* NDA Lite permettano l'utilizzo dello stesso in diversi ambiti di monitoraggio strutturale: in particolare si è dimostrato come nel caso di analisi di linee di base corte (di lunghezza inferiore al chilometro), la ripetibilità sia adeguata (RMS inferiore a 3 mm) anche quando vengono analizzate sessioni di lunghezza inferiore all'ora. Nel caso di linee di base di lunghezza maggiore è auspicabile di effettuare misure su sessioni di durata almeno oraria; in questi casi, risulta inoltre importante posizionare i ricevitori di riferimento e *rover* a quote simili (indicativamente non superiori a 100 metri), per non inficiare le prestazioni del sistema di monitoraggio. Infine, si è dimostrato come la scelta di utilizzare segnali GPS a bassa frequenza (periodo di campionamento 30 secondi) non modifichi l'accuratezza del sistema di misura, pur diminuendo drasticamente la quantità di dati che ogni ricevitore deve acquisire, salvare localmente e trasmettere.

Un *setup* di misura con le caratteristiche appena riportate è facilmente implementabile nel caso di monitoraggio di edifici e strutture. In questi casi è infatti ragionevole ipotizzare di collocare un ricevitore sulla sommità dell'edificio da monitorare ed un secondo ricevitore a terra, nelle immediate vicinanze dello stesso (in un luogo in cui, comunque, sia visibile una porzione adeguata di cielo). Sulla base dei risultati ottenuti e nell'ipotesi di realizzare un *setup* sperimentale come quello appena descritto, i prossimi passi della collaborazione tra Galileian Plus ed EUCENTRE prevedono la realizzazione di uno studio pilota relativo al monitoraggio con tecniche GPS di edifici storici siti nella città di Pavia.

#### **Ringraziamenti**

Un sentito ringraziamento va a Marco Osmo di Galileian Plus per la preziosa collaborazione nell'analisi dei risultati e nella revisione dell'articolo.

#### **Bibliografia**

Chersich M., De Giovanni A., Osmo M., "NDA: Un Tool Italiano per il Processamento Automatico di Dati da Reti GPS Permanenti", *Atti 6a Conferenza Nazionale ASITA, Perugia, Novembre 2002*;  
Chersich M., Crosta G.B., "Monitoraggio GPS di Instabilità di Pendio: la Frana di Cortenova (Lc)", *Atti della 8a Conferenza Nazionale ASITA, Roma, Dicembre 2004*.

## **Strumenti per l'integrazione fra database topografico e informazioni catastali**

Francesco D'Alesio (\*), Francesca Di Maria (\*\*), Franco Guzzetti (\*\*\*), Paolo Viskanic (\*\*\*\*)

(\*) R3 GIS srl, Via J. Kravogl 2, 39012 Merano, 0473494949, francesco.dalesio@r3-gis.com

(\*\*) Politecnico di Milano, Dipartimento Best, Piazza Leonardo da Vinci 32, 20133 Milano  
0223996523, francesca.dimaria@polimi.it

(\*\*\*) Politecnico di Milano, Dipartimento Best, Piazza Leonardo da Vinci 32, 20133 Milano  
0223996531, franco.guzzetti@polimi.it

(\*\*\*\*) R3 GIS srl, Via J. Kravogl 2, 39012 Merano, 0473494949, paolo.viskanic@r3-gis.com

### **Introduzione**

La produzione di *database* topografici (DbT) in Regione Lombardia e la disponibilità dei dati dell'Agenzia del Territorio (AdT) ha diffuso la necessità di gestire in maniera integrata nei SIT comunali gli aggiornamenti del DbT e le informazioni catastali.

Con la legge regionale 7/2010 e con il correlato quadro di riferimento per l'aggiornamento del DbT e l'interscambio con le banche dati catastali (Regione Lombardia, 2010), si definiscono in maniera assolutamente innovativa le regole e le condizioni con cui gli Enti locali debbono mantenere aggiornato il DbT locale, utilizzando la professionalità dei tecnici che avviano pratiche edilizie autorizzative con un meccanismo molto simile a quello da decenni attivato con Pregeo e Docfa dall'AdT. Il DbT regionale si aggiorna di conseguenza sfruttando le regole di condivisione fra Regione e Enti gestori, cioè andando a confrontarsi con i DbT locali aggiornati.

Questo meccanismo accuratamente studiato ed in fase di sperimentazione, poggia sul presupposto di INSPIRE di catturare il dato di aggiornamento laddove esso nasce ed è facilmente recuperabile. L'Ente locale, sino alla singola amministrazione comunale, ha quindi la necessità ed il compito di aggiornare il proprio DbT. Questo obiettivo ha un'oggettiva difficoltà organizzativa e presenta anche una serie di ostacoli tecnologici legati alla struttura imposta da Regione per il DbT, alla necessità per le applicazioni locali di far interagire il Sit comunale con i dati dell'AdT e alla richiesta di poter lavorare il più possibile in ambienti Web semplici senza la necessità di alte professionalità e di *software* evoluti.

Con questi presupposti, nell'ambito di una ricerca applicata fra Politecnico di Milano e la società R3 GIS di Merano, si è messo a punto uno strumento di lavoro basato su tecnologia *Webgis* e sviluppato con applicativi basati su *software* libero e sugli standard dell'Open Geospatial Consortium (OGC), che permette di lavorare con dati geografici ed attributi associati sia del DbT che delle basi catastali, senza modificare l'archivio catastale. L'applicativo di R3 GIS è denominato *R3 UrbanTools* e le sue principali funzionalità sono di seguito descritte.

### **Gestione della congruenza con le mappe catastali**

È ormai diffuso nella maggioranza dei Sit comunali poter visualizzare in sovrapposizione il DbT con le mappe catastali; il primo prodotto ha una struttura standardizzata e controllata da Regione Lombardia mentre le mappe catastali sono scaricate dalla banca dati dell'AdT tramite gli applicativi a disposizione di ogni amministrazione. Le problematiche relative al differente sistema cartografico di riferimento sono risolte in maniera univoca e ciò consente anche di avviare pratiche ormai consolidate per scaricare periodicamente dall'AdT gli aggiornamenti nel frattempo intervenuti sul territorio e notificati al Catasto con le procedure Pregeo.

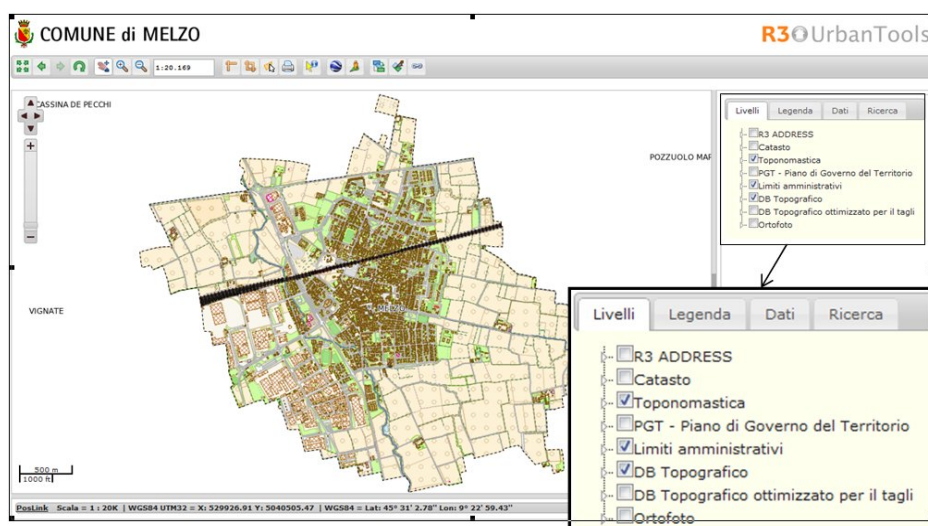


Figura 1 – L'interfaccia dell'applicativo R3 UrbanTools.

Quando si visualizzano DbT e mappa catastale resta ancora evidente la non congruenza dei due dati cartografici: non sono perfettamente sovrapponibili con un movimento rigido di rototraslazione. Il fatto è poi molto evidente in Lombardia per tutti quei comuni (circa un terzo del totale) che hanno il catasto su mappe a perimetro aperto.

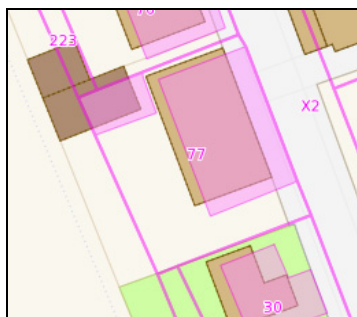


Figura 2 – Esempio d'incongruenza fra DbT e mappa catastale.

Dato che i tecnici per avviare i procedimenti urbanistici hanno sempre risolto il problema senza la necessità di ridisegnare le mappe catastali, si è pensato di proporre in R3 UrbanTools una funzionalità impostata proprio sulla modalità empirica con cui negli studi professionali si è lavorato. È, infatti, possibile rototraslare localmente l'immagine delle mappe catastali prescelte in modo da trovare la massima congruenza possibile fra le due basi cartografiche, nello stesso modo con cui si operava graficamente con i lucidi degli estratti di mappa. La rototraslazione che viene manualmente definita dall'operatore modifica solo le immagini della mappa catastale e non tocca il dato originale; i parametri geometrici della trasformazione vengono associati nella banca dati alla/e particella/e prescelta/e in modo tale che l'applicativo possa riproporre in automatico la soluzione nel momento in cui si debba tornare ad operare nel medesimo ambito territoriale. Anche in caso di aggiornamento della base dati catastale, i parametri di rototraslazione associati a ciascuna particella potranno essere applicati al dato aggiornato.



Inoltre, quando si va ad operare su di una particella vicina a quella per cui l'incongruenza è già stata risolta, l'applicativo permette di associare anche a tale particella la rototraslazione delle particelle adiacenti.



Figura 3 – Esempio di armonizzazione delle mappe catastali al DbT.

Il conseguente risultato si materializza nella creazione di nuove geometrie all'interno del layer "Catasto elaborato" che contempla, oltre agli identificativi catastali, i parametri di spostamento utili a restituire in ogni momento la migliore visualizzazione delle due cartografie, senza intaccare il dato originale del catasto.

La funzionalità descritta è molto utile per risolvere tutte le situazioni in cui sono evidenti degli errori sistematici nel posizionamento assoluto di un foglio di mappa (in genere una semplice traslazione), condizione abbastanza frequente che genera ripetuti problemi quando gli interventi pianificatori e edificatori si svolgono a cavallo di due o più fogli adiacenti di cui uno soggetto a tale difetto. È quindi molto utile per individuare le superfici delle particelle interessate da un progetto, quando nella banca dati catastali si presentano buchi (in genere sempre nelle zone di mosaicatura fra fogli) o incongruenze con l'esistente.

Teoricamente successivamente, si potrebbe attivare una sorta di validazione delle rototraslazioni necessarie ad ottimizzare la congruenza fra mappe catastali e DbT, per ciascuna particella, su tutto l'ambito comunale in modo che il singolo professionista non debba andare a definire in maniera soggettiva la posizione della singola destinazione urbanistica. Senza modificare la banca dati catastale sarebbe con ciò possibile rendere oggettivo il rilascio automatico di certificati di destinazione urbanistica, alleggerendo il lavoro dei professionisti e velocizzando quello degli uffici tecnici.

Va infine ricordato che dopo la validazione geometrica della rototraslazione imposta, una o più particelle possono essere fra di loro associate a formare una "pertinenza residenziale" (PR). Tale pertinenza residenziale nasce quindi nel Sit comunale come una sorta di entità logica (non è infatti necessario associare ad essa una geometria, anche se ciò è possibile con un apposito lavoro) a cui sono riferiti tutti i dati territoriali di un particolare ambito urbano. Si ricorda a tal proposito che le pertinenze sono definite nel modello dati di IntesaGis per la realizzazione dei DbT ma in fase di produzione sono richieste solo alcune categorie di pertinenze proprio perché la maggior parte, come in particolare quelle residenziali, non possono essere generate se non con un attento confronto con le particelle catastali. È interessante quindi far notare come anche per questa strada si vada a perseguire l'obiettivo di arrivare ad una "carta unica", cioè ad un'unica geometria del territorio che consenta di gestire tutte le informazioni necessarie, compresa quella catastale.

La creazione delle PR è fondamentale per la gestione della perequazione volumetrica nei moderni strumenti urbanistici (PGT) che consente lo spostamento dei diritti edificatori ma che richiede l'ufficializzazione di tali movimenti con un apposito servizio pubblico a disposizione di tutti gli interessati, nel rispetto dei diritti di proprietà.

### Ridefinizione delle geometrie degli edifici sulla base dei fabbricati catastali

Quando si generano le PR, come quando si va a confrontare la mappa catastale con un prodotto aerofotogrammetrico come il DbT di prima generazione, è abbastanza evidente la differenza fra il modello associato agli edifici del DbT con la corrispondente definizione legislativa relativa al fabbricato catastale. I SIT locali si basano sul DbT, rappresentano gli edifici, che però sono altra cosa rispetto a quello che la normativa nazionale definisce essere il fabbricato che è collegato alla proprietà e che è rappresentato nelle mappe catastali.

Nell'esempio di figura 4 è illustrato un caso emblematico: due fabbricati, ben riconoscibili nell'immagine aerea, identificati con due riferimenti catastali differenti, sono restituiti nel DbT come un unico edificio perché le differenze volumetriche che li identificano sono inferiori alla soglia di acquisizione alla scala 1:2000. Quindi nasce un oggetto (edificio) nel DbT che corrisponde invece a due oggetti (fabbricati) per il catasto.

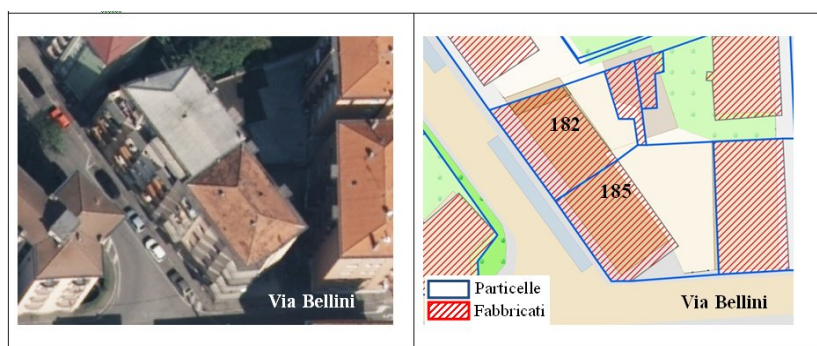


Figura 4 – Due fabbricati per il catasto sono un solo edificio nel DbT.

Nella tipologia edilizia nazionale sono poi frequenti gli isolati costituiti da differenti volumi edificatori (le unità volumetriche del DbT) che non hanno corrispondenza con le Unità Immobiliari che regolano di fatto la gestione del costruito per il Catasto. Nella figura 5 si riporta un caso di un isolato urbano, con una buona corrispondenza d'insieme fra DbT e mappa catastale, dove però le dividenti del DbT (che definiscono le unità volumetriche rilevabili del volo fotogrammetrico) sono molto differenti rispetto alle dividenti catastali con contorno viola (relative ai fabbricati a cui sono associati i diritti edificatori). Nel SIT comunale è fondamentale avere a che fare con oggetti costruiti che corrispondano il più possibile con i fabbricati catastali. Il DbT riconosce invece gli edifici come insieme di unità volumetriche, non potendo gestire, in fase di produzione fotogrammetrica, un riscontro con gli oggetti catastali. La generazione precedentemente descritta delle PR richiede poi di suddividere gli edifici del DbT che vanno a ricadere su PR differenti.

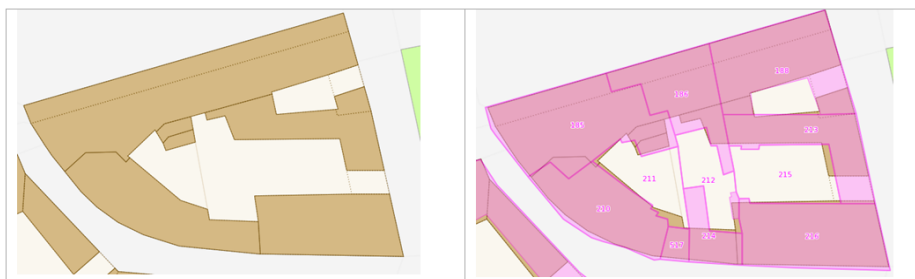


Figura 5 – Un isolato con evidente la differenza fra edifici (DbT a sinistra) e fabbricati (mappa catastale a destra).

Ecco allora che è importante poter disporre di una funzione di *R3 UrbanTools* che permette di “tagliare” unità volumetriche ed edifici del DbT secondo la corrispondenza con altre geometrie (in genere i contorni delle particelle rototraslate), operando sulla banca dati 3D del DbT, senza modificare la congruenza topologica di tale prodotto, in modo da ottenere nuovi edifici per cui valga la corrispondenza alfanumerica e geometrica con i fabbricati catastali.

In questo caso quindi l'operatore interagisce con il DbT andando a suddividere gli edifici presenti (e le unità immobiliari che compongono l'edificio) in parti che hanno la massima corrispondenza con i fabbricati catastali. Questo è bene sia eseguito dopo aver recuperato la massima congruenza locale possibile con le funzionalità di traslazione delle mappe catastali descritte in precedenza.



Figura 6 – La funzione di taglio degli edifici.

Operativamente il taglio del DbT avviene con una procedura che permette di preselezionare i layer da utilizzare per le funzionalità di *snap*: è possibile selezionare sia oggetti del DbT che oggetti della mappa catastale. Attivato lo *snap*, è quindi possibile tracciare la linea di taglio; per ultimare il disegno della linea è sufficiente un doppio click. Tracciata la linea, nella finestra di dialogo viene chiesta la conferma per effettuare il taglio. Dopo qualche istante viene visualizzato il risultato del taglio, con un bordo nero. All'interno della finestra “Taglio Db Topografico” vengono visualizzati i dati relativi al taglio proposto: l'edificio del Db con il suo codice identificativo e i due nuovi edifici generati dalla sua suddivisione, con i rispettivi codici e le rispettive volumetrie.

Selezionando i poligoni, è possibile evidenziarli singolarmente o zoomare su uno di essi. Ai due nuovi edifici sono stati attribuiti due nuovi codici compatibili con tutti quelli del DbT. Se si ritiene valido il risultato prodotto, è possibile salvare le modifiche effettuate cliccando il pulsante “Salva”; nel caso contrario l'opzione “ricomincia” consente di effettuare un nuovo taglio, senza eseguire alcun salvataggio.

A questo punto, dopo aver ottenuto la massima congruenza possibile fra mappa catastale e DbT e avendo di conseguenza generato le pertinenze residenziali, gli edifici del DbT sono ridefiniti sino ad arrivare ad una corrispondenza diretta con i fabbricati catastali, senza modificare mai la mappa. Una funzione permette di associare a ciascuna PR uno o più edifici del DbT; tale operazione è da eseguirsi in modo semiautomatico e deve essere guidata da una approfondita conoscenza del territorio che solo a livello comunale è possibile avere. L'applicativo calcola alcuni dati geometrici di corrispondenza relativi all'associazione così generata fra particelle, pertinenze residenziali e edifici.

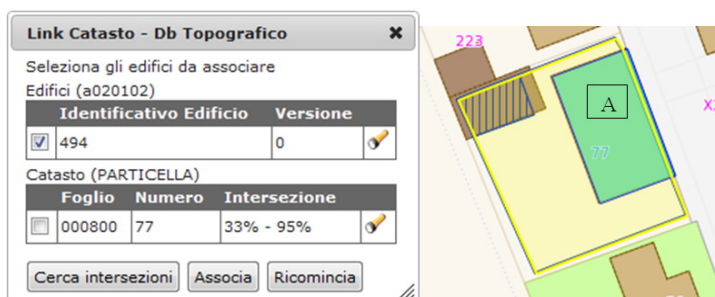


Figura 7 – Associazione degli edifici alla pertinenza residenziale.

### Creazione della scheda della pertinenza residenziale

Una banca dati che ha le caratteristiche appena ricordate permette di generare con procedure semiautomatiche una corrispondenza con l'altra banca dati fondamentale di un Sit, quella degli indirizzi. Anche per questo argomento è bene ricordare che le specifiche regionali che portano alla produzione dei DbT prevedono il rilievo dell'accesso esterno a cui può essere associato o meno un numero civico e a cui possono corrispondere o meno più accessi interni.

I numeri civici sono regolati dalle dinamiche legate all'anagrafe comunale, banca dati giornalmente aggiornata in ogni comune; tali dinamiche spesso sono disgiunte da una base cartografica moderna ed aggiornata. Nel Sit è quindi importante poter associare ogni accesso esterno alla corrispondente pertinenza residenziale, ricordando che il legame che ne può nascere è di molti a uno, cioè più numeri civici possono essere collegati ad una PR.

La funzionalità sviluppata in *R3 UrbanTools* consente di preselezionare in modo automatico gli accessi esistenti nel DbT che stanno ad una ragionevole distanza di interesse nei confronti della PR. Si deve però eseguire una scelta manuale per individuare e confermare quali sono gli accessi che realmente sono correlati alla PR in oggetto.

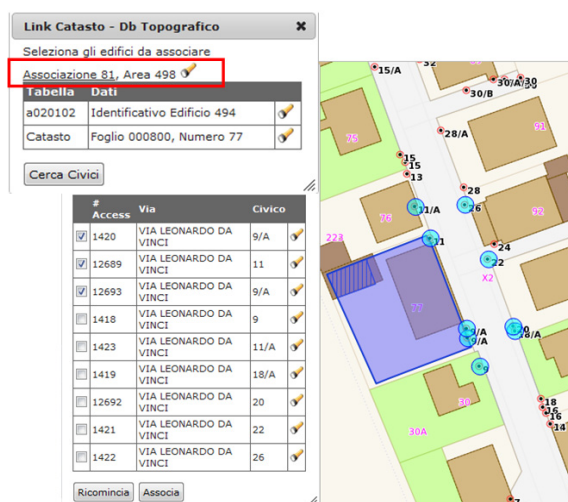


Figura 8 – Il collegamento con gli accessi esterni e di conseguenza con i numeri civici.

Alla fine dell'operazione si viene a creare un'associazione in banca dati tra gli edifici del DbT, i fabbricati catastali ed accessi e civici, ed è quindi possibile generare una scheda riassuntiva per ogni PR con le relative corrispondenze tra superfici e volumi del DbT e quelle catastali e l'elenco degli indirizzi associati. Grazie alla sincronizzazione tra civici e anagrafe, è possibile risalire al numero e ai dati delle persone e/o delle famiglie residenti all'interno dello stabile, oltre alle informazioni relative ai possessori degli immobili ottenibili tramite il collegamento con la banca dati alfanumerica catastale collegata ai numeri di foglio e mappale.

Figura 9 – La scheda dell'associazione consente di consultare catasto e proprietari, DbT con volumetrie, accessi con civici e residenti.

### Visualizzazione su Google Earth

Un'ulteriore interessante funzione dell'applicativo è legata alla possibilità di esportare in Google Earth il modello 3D georeferenziato degli edifici selezionati, ad esempio, di una certa pertinenza residenziale, in modo da poter confrontare e validare l'esito delle scelte fatte nei vari passaggi semiautomatici precedentemente descritti con il reale. In Google Earth è infatti possibile attivare Street View che permette di andare a verificare alcune delle ipotesi che sono alla base delle scelte fatte per arrivare alla definizione della scheda della pertinenza residenziale precedentemente descritta.

Ciò permette anche di far comprendere più facilmente l'ambito interessato dal lavoro a persone che non conoscono approfonditamente il territorio e/o di eseguire una serie di verifiche senza dover necessariamente attivare un sopralluogo.



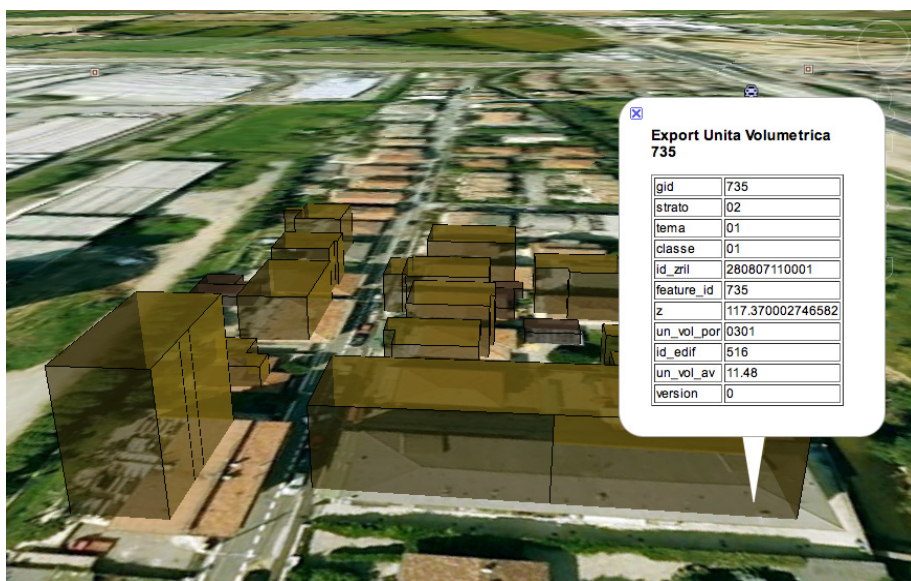


Figura 10 – Vista su Google Earth delle caratteristiche volumetriche degli edifici del DbT.

Il modello dell'edificio che viene creato in Google Earth ha le caratteristiche volumetriche che derivano direttamente dal contenuto del DbT, dopo tutte le operazioni precedentemente descritte. Allo stesso modo è possibile accedere direttamente da UrbanTools a Google Streetview. Questo consente di aprire un'immagine catturata da Google Streetview nella posizione desiderata. Basta disegnare con l'apposito strumento una linea orientata nella direzione in cui si vuole guardare; la posizione e l'orientamento verranno trasmessi a Google Streetview, che aprirà in una finestra separata l'immagine della facciata di interesse.

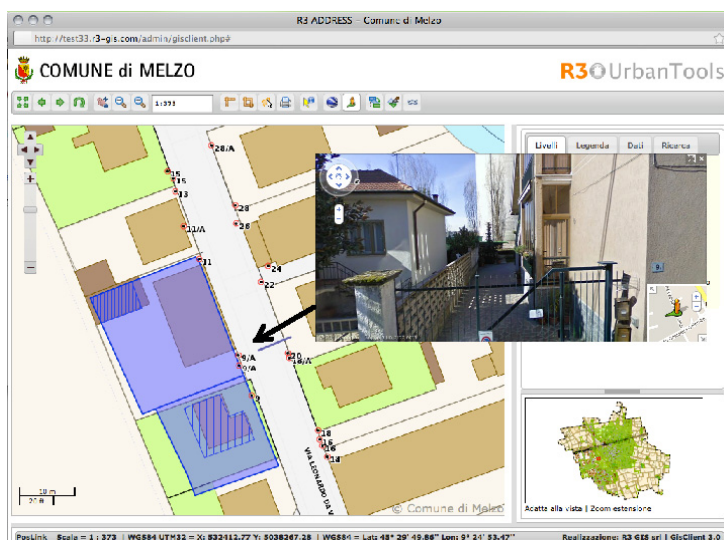


Figura 11 – Le facciate degli edifici sono facilmente consultabili richiamando le immagini di Google Streetview direttamente dall'applicativo.



### **Caratteristiche tecniche dell'applicativo**

Tutto il procedimento sopra descritto è facilitato dalla possibilità di lavorare in multiutenza via Web sui dati, mantenendo invariata la struttura del DbT. Si tratta quindi di un'attività che può essere facilmente messa in cantiere in un comune ufficio tecnico, senza richiedere l'acquisto di strumenti software di particolare complicatezza, senza dover migrare grosse mole di dati, sfruttando i classici ed intuitivi comandi propri dei sistemi *WebGis*.

L'architettura dell'applicativo è basata completamente su *software open source*, con una banca dati PostgreSQL e modulo spaziale PostGIS, server cartografico Mapserver. Per la configurazione dei layer e delle varie funzioni di interrogazione e ricerca è stato utilizzato GisClient. Il *client* cartografico è basato su Openlayers. I vari componenti comunicano tra di loro utilizzando gli standard OGC WMS (Web Map Service) e WFS (Web Feature Service).

### **Conclusioni**

La sperimentazione descritta ha come risultato la maggior sincronizzazione possibile fra i dati territoriali disponibili a livello comunale, creando i collegamenti necessari fra DbT, mappa catastale, anagrafe e realtà. E' quindi uno strumento di lavoro che permette di creare le pertinenze residenziali dopo aver raggiunto la massima congruenza possibile fra DbT e mappa catastale, senza modificare nessuna delle due banche dati.

Consente di rimodellare gli edifici sul DbT in modo che abbiano corrispondenza uno ad uno con i fabbricati catastali, così da ottenere un allineamento logico fra le due banche dati relative gli immobili. In conseguenza di ciò sono sfruttabili una serie di funzionalità che permettono di correlare i volumi edificati (da DbT), quelli concessi e quelli previsti dagli strumenti urbanistici, permettendo la gestione degli spostamenti volumetrici che molti PGT prevedono ma che risulta essere un dato di difficile manutenzione.

Quello che nasce all'interno del SIT comunale mediante la gestione di *R3 UrbanTools* è una banca dati territoriale impostata sugli oggetti del DbT che è però supporto a tutte le informazioni catastali, senza la necessità di arrivare ad una nuova mappa catastale, condizione peraltro auspicabile. Alla base di questa sperimentazione viene già quindi adottata la logica dell'auspicata "Carta unica" cioè dell'unico riferimento cartografico per un Sit, a supporto di ogni operazione di gestione del territorio. La carta unica è previsto che nasca progressivamente con le nuove edificazioni a seguito delle indicazioni tecniche per la gestione degli aggiornamenti. Può essere recuperata la fruibilità della carta unica anche su DbT già completati mediante una serie di operazioni correttamente supportate da *R3 UrbanTools*.

### **Riferimenti bibliografici**

Regione Lombardia (2010), "Atto di indirizzo e coordinamento tecnico per l'attuazione dell'art. 3 della l.r.12/05 Legge per il governo del territorio – Quadro di riferimento per l'aggiornamento del database topografico e l'interscambio con le banche dati catastali", *Bollettino Ufficiale Regione Lombardia n. 42 del 18 ottobre 2010*.



## FreeGIS – Dati e strumenti geografici liberi

Francesco D'Alesio (\*), Peter Hopfgartner (\*\*), Paolo Viskanic (\*\*\*)

(\*) R3 GIS srl, Via J. Kravogl 2, 39012 Merano (BZ), e-mail: francesco.dalesio@r3-gis.com

(\*\*) R3 GIS srl, Via J. Kravogl 2, 39012 Merano (BZ), e-mail: peter.hopfgartner@r3-gis.com

(\*\*) R3 GIS srl, Via J. Kravogl 2, 39012 Merano (BZ), e-mail: paolo.viskanic@r3-gis.com

### Introduzione

Il progetto FreeGIS ha l'obiettivo di affrontare la registrazione, l'analisi, la visualizzazione e la restituzione di informazioni geografiche attraverso l'utilizzo di formati di dati aperti e strumenti *software* liberi. FreeGIS è un progetto Interreg Italia-Svizzera finanziato grazie al Programma di cooperazione transfrontaliera Italia-Svizzera 2007-2013 del FESR (Fondo Europeo di Sviluppo Regionale) dell'Unione Europea ed è un approfondimento puntuale del progetto Interreg Italia-Svizzera CoCOS, consolidato attraverso il Free Software Center South Tyrol® collocato nell'area delle Tecnologie Digitali del TIS innovation park di Bolzano.

FreeGIS si basa sugli standard dell'Open Geospatial Consortium (OGC) e applica la direttiva INSPIRE, ponendo particolare attenzione a come viene gestito il multilinguismo, caratteristica di particolare importanza nelle regioni frontaliere dell'Alto Adige e del Canton Grigioni, principali partner del progetto.

In sintesi, gli obiettivi principali del progetto sono i seguenti:

- analizzare i protocolli di interscambio dati riguardo il multilinguismo e collaborare nell'ambito di gruppi di lavoro internazionali sugli standard geografici;
- creare un prototipo (*Reference Implementation*) basato su protocolli e formati aperti e compatibili con INSPIRE, utilizzando esclusivamente software libero;
- definire una licenza per dati geografici liberi;

La relazione tratterà lo stato di avanzamento delle attività ed il calendario di realizzazione.

### Stato del progetto

Il progetto è iniziato ufficialmente nell'ottobre 2010, anche se le pratiche amministrative hanno consentito un inizio delle attività solo nella primavera del 2011. Le prime fasi del progetto riguardano la definizione delle necessità e l'analisi dello stato attuale di standard e specifiche. L'obiettivo di questa fase è quello di censire le differenze e gli sviluppi necessari per soddisfare le esigenze di multilinguismo, di pubblicazione di servizi INSPIRE, di implementazione dei diversi software *webGIS open source* attraverso formati di interscambio standard e di definizione di una licenza per dati liberi.

Riguardo il multilinguismo è stata fatta un'analisi degli standard OGC per la pubblicazione dei dati in formato immagine (WMS), in formato GML (WFS) e all'organizzazione delle pubblicazioni in un catalogo (CSW). Inoltre, sono state analizzate e censite le necessità di multilinguismo dei servizi INSPIRE. Da queste analisi è stato prodotto un rapporto contenente le differenze tra l'attuale stato dei servizi OGC e le richieste di INSPIRE.

La prossima fase di questo work package è la discussione del rapporto e delle necessità ancora non soddisfatte dagli attuali standard all'interno dei relativi gruppi di lavoro in ambito OGC. L'obiettivo finale è l'eventuale stesura di una proposta di modifica degli standard per soddisfare le esigenze di multilinguismo censite e per colmare le differenze con le specifiche INSPIRE.

Il progetto prevede anche lo sviluppo di una soluzione, completamente basata su software liberi, che permetta ad un'amministrazione di pubblicare i propri dati soddisfacendo le esigenze di INSPIRE.

Per la *Reference Implementation* è stata fatta un'analisi della struttura delle caratteristiche specificate dal progetto, in modo da produrre uno schema dell'architettura.

Inoltre, sono stati censiti e valutati i software GIS *open source* considerando, principalmente, i seguenti fattori:

- stato attuale di conformità con standard OGC e specifiche INSPIRE;
- attività correnti relative all'implementazione dei sopracitati standard e specifiche;
- popolarità e livello di attività della comunità;
- relazioni e possibilità d'integrazione con altri software.

Da questa analisi è scaturita una proposta di *software* da utilizzare per la *Reference Implementation*. È ora in corso la realizzazione. Questo comprende un lavoro di integrazione tra i *software* scelti e la contribuzione ai progetti *open source* coinvolti, laddove ci sia la necessità di modifiche o miglioramenti per il raggiungimento degli obiettivi prefissati.

Per quanto riguarda la licenza da utilizzare per i dati geografici, un gruppo di lavoro di esperti in campo legale collegato ai *software* liberi, sta studiando i vari tipi di licenze già disponibili, per individuare quale meglio si addice ai dati geografici. Il risultato di questo studio verrà reso disponibile e discusso con la comunità, al fine di proporre una licenza condivisa.

### **Multilinguismo in INSPIRE e standard OGC**

Il progetto INSPIRE stabilisce un'infrastruttura per le informazioni geografiche europee, con il fine di assicurare che i sistemi informativi geografici degli stati membri siano compatibili tra di loro. La direttiva prevede che gli stati membri adottino le regole di realizzazione (*Implementing Rules*) stabilite.

Il progetto FreeGIS è legato strettamente agli standard OGC (sui quali si basa la *Reference Implementation* ed il multilinguismo) ed alle specifiche INSPIRE (alle quali deve attenersi la *Reference Implementation*).

OGC, Open Geospatial Consortium è un'organizzazione internazionale *no-profit* alla quale partecipano la maggior parte degli *stakeholders* dei sistemi informativi geografici. L'attività principale dell'OGC è la definizione di standard per contenuti e servizi geografici, reti di sensori e servizi di localizzazione.

L'analisi di specifiche e standard riguardo il multilinguismo ha evidenziato una sostanziale discrepanza nel modo in cui i due organismi intendono l'implementazione di servizi multilingua.

In sintesi, le differenze trovate riguardano i seguenti aspetti:

- lo standard di riferimento per il codice identificativo delle lingue
- i metadati da utilizzare per l'esposizione delle traduzioni
- la determinazione della completezza delle traduzioni

Nonostante le differenze, le specifiche INSPIRE verranno probabilmente adattate nel momento in cui OGC completerà la definizione delle specifiche multilingua. Per quanto riguarda gli altri aspetti, le specifiche INSPIRE sono state sviluppate come "estensioni" degli standard OGC esistenti. Non ci sono quindi altre incompatibilità.

### **Reference Implementation**

Il progetto FreeGIS prevede lo sviluppo di una *Reference Implementation* che permetta la gestione, trasformazione, modifica e pubblicazione di dati geografici con *software open source*.

L'analisi dell'architettura della *Reference Implementation* ha prodotto la definizione di due modalità di utilizzo dei servizi implementati: una centrata sulla fruizione dei dati ed un'altra centrata sulla modifica e la gestione dei dati. Lo schema seguente illustra la struttura della *Reference Implementation* in modalità di fruizione (Figura 1).

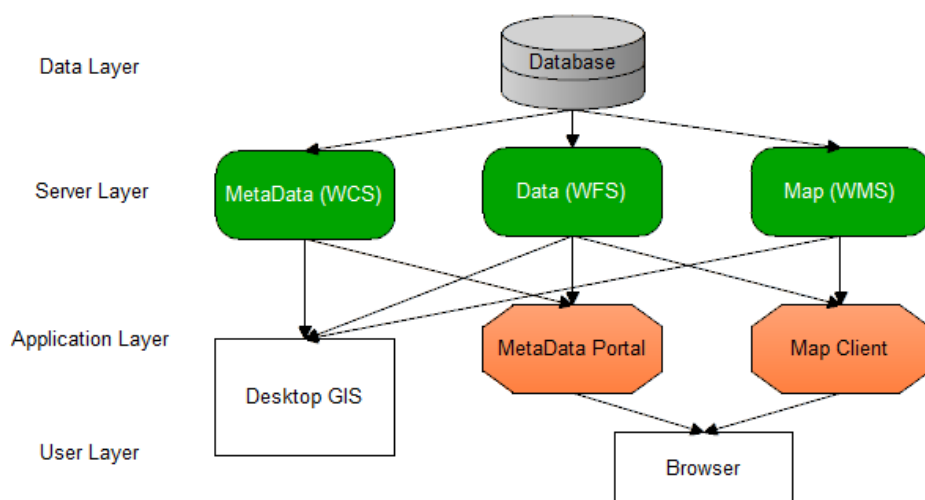


Figura 1 – Struttura della reference implementation in modalità di fruizione.

I dati presenti in uno o più *database* vengono esposti a livello *server* attraverso gli standard OGC. Questo rende possibile la fruizione del servizio sia attraverso un *Desktop GIS* (*software* libero quale QGIS, gvSIG, UDig, o *software* proprietario), sia attraverso un *browser*. Nel secondo caso, c'è un ulteriore livello nella *Reference Implementation*, quello dell'applicativo di mappa.

Il portale dei metadati fornisce un catalogo dei servizi. Permette quindi agli utenti di cercare, secondo categorie, chiavi e posizione geografica i dati pubblicati. Il *client* serve alla visualizzazione grafica delle immagini di mappa via *browser* e mette a disposizione strumenti di interfaccia per l'interrogazione e la ricerca dei dati vettoriali. Lo schema seguente illustra la struttura della *Reference Implementation* in modalità modifica/gestione dei dati.

L'utente ha la possibilità di modificare e gestire i dati sia attraverso il *browser* che un *Desktop GIS* compatibile con la specifica WFS-T. Via *browser*, è il *client* di mappa che si occupa di fornire gli strumenti necessari alla modifica dei dati.

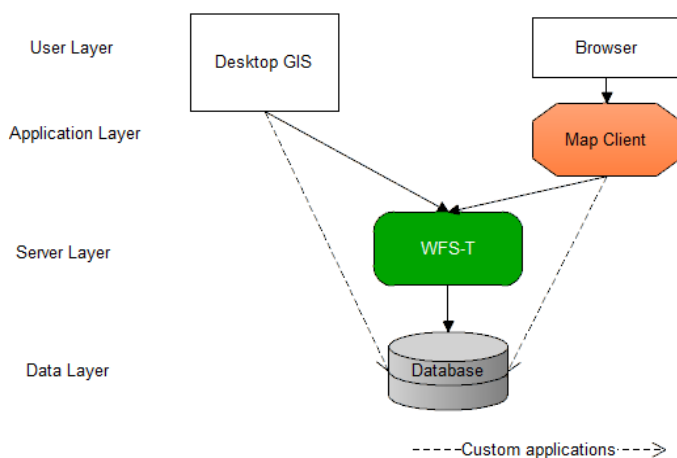


Figura 2 – Struttura della reference implementation in modalità di gestione e modifica.

Comunicando attraverso il protocollo definito dallo standard WFS-T, i dati modificati vengono salvati all'interno di un *database* spaziale.

Oltre questi due scenari, la *Reference Implementation*, dovendo tenere conto delle specifiche INSPIRE, fornirà gli strumenti necessari alla trasformazione dei dati dagli schemi presenti all'interno delle singole amministrazioni a quelli previsti dalle *Data Specifications* di INSPIRE per i vari temi. Per questo motivo, è stato organizzato un seminario sul progetto HUMBOLDT. Il progetto europeo HUMBOLDT ha l'obiettivo di fornire strumenti utili all'armonizzazione dei dati verso le specifiche INSPIRE.

Tutti i dati che verranno pubblicati per il progetto INSPIRE dovranno infatti rispettare dei modelli di dati ben definiti dalle *Data Specifications* dei vari temi. La trasformazione dagli schemi attuali dei dati a quelli INSPIRE è un'operazione complessa, che dovrà essere ripetuta ad ogni aggiornamento dei dati. Per questo, è necessario adottare strumenti in grado di definire uno schema di armonizzazione, composto da regole di trasformazione e mappatura dei dati nei due modelli. Inoltre è necessario poter applicare questi schemi ad ogni aggiornamento dei dati, eventualmente anche "on the fly". Vista la complessità e l'interesse riguardo queste procedure, il progetto FreeGIS includerà anche la parte di estrazione, trasformazione e caricamento (in inglese *Extract, Transform, Load*, abbreviato *ETL*) necessaria ad ottenere dati in formato INSPIRE.

Di seguito la lista dei software presi in considerazione per la *Reference Implementation*, divisi per livello.

| Categoria           | Software                                                                         |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| ETL                 | HUMBOLDT                                                                         |
| Livello dati        | PostgreSQL + PostGIS, MySQL, Shapefiles, Files testuali (GML, KML)               |
| Livello server      | MapServer, GeoServer, Deegree, QGIS Mapserver, GeoNetwork, TinyOWS               |
| Livello application | OpenLayers, GeoEXT, OpenScales, MapFish, GisClient, pMapper, MapBender, Geomajas |
| Livello client      | GRASS, QuantumGIS, GvSIG, Udig                                                   |

*Tabella 1 – Software considerati nel valutare l'architettura della reference implementation del progetto FreeGIS.*

Tutti questi software sono stati analizzati in base al loro uso degli standard OGC e alla loro vicinanza alle specifiche INSPIRE. Inoltre, è stata valutata la loro capacità di integrazione con gli altri software, ai fini della realizzazione della Reference Implementation.



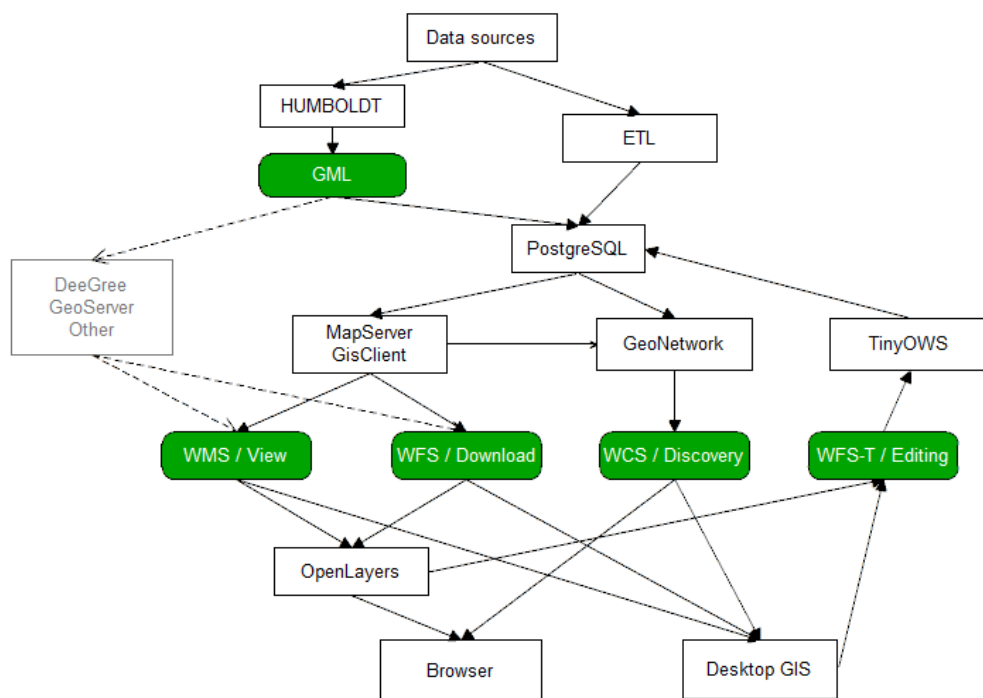


Figura 3 – Architettura proposta per la Reference implementation del progetto FreeGIS.

Lo schema parte dai dati disponibili all'interno di un'amministrazione che, generalmente, hanno una struttura funzionale all'utilizzo all'interno dell'amministrazione, ma che non corrisponde alle specifiche INSPIRE. I dati devono quindi essere trasformati seguendo sia delle procedure ETL ad hoc (principalmente per i dati che non necessitano aggiornamenti o cambiano molto lentamente) sia con delle procedure più strutturate, definibili con gli strumenti messi a disposizione dal *framework* HUMBOLDT. Le trasformazioni di HUMBOLDT producono dati in formato GML, che possono essere utilizzati direttamente da componenti *server* come DeeGree o GeoServer, oppure possono essere importate in un DBMS spaziale tipo PostgreSQL+PostGIS. La *Reference Implementation* basa il livello dati sul *database* PostgreSQL, che offre una maggiore flessibilità, soprattutto riguardo la modifica, via *webGIS*, dei dati.

A livello *server*, sono quattro i *software* coinvolti per l'esposizione dei diversi servizi richiesti da INSPIRE e dalle specifiche del progetto FreeGIS:

- MapServer si occupa della renderizzazione dei dati in formato immagini, seguendo le specifiche WMS. Un gruppo di lavoro sta portando avanti l'adattamento del WMS Server alle specifiche INSPIRE.
- GisClient offre sia un'interfaccia grafica per la configurazione di MapServer, sia la possibilità di configurare una *Rich webGIS Application*, completa di tutte le caratteristiche (interrogazione, ricerca, stampa, etc).

Attraverso questi due *software*, sarà possibile offrire servizi WMS e WFS (rispettivamente View e Download nelle specifiche INSPIRE), fruibili sia attraverso un Desktop GIS che attraverso un browser.

- GeoNetwork consente di creare un portale di metadati e di configurare i servizi di Discovery, inserendo i metadati richiesti da INSPIRE e sincronizzandosi con i servizi WMS e WFS ai quali i metadati fanno riferimento.
- TinyOWS consente l'editing dei dati spaziali attraverso il protocollo WFS-T. E' un componente facilmente integrabile con MapServer e presto sarà incluso nella prossima versione di MapServer stesso.

Per la fruizione dei servizi via *browser*, l'applicazione verrà sviluppata utilizzando le librerie javascript OpenLayers.

### **Riferimenti bibliografici**

Implementing Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council as regards interoperability of spatial data sets and services

<http://inspire.jrc.ec.europa.eu/>

INSPIRE Technical Guidance View Services v3

INSPIRE Technical Guidance for Discovery services v3

ISO 19115:2005(E): Geographic information – Web map server interface

ISO 19115:2003(E): Geographic information – Metadata

Sudra Pawel, (2010) *INSPIRE-compliant web services*

<http://inspire.kademo.nl/doc/>

<http://www.mapserver.org/>

<http://www.geoserver.org/>

<http://www.deegree.org/>

[http://karlinapp.ethz.ch/qgis\\_wms/](http://karlinapp.ethz.ch/qgis_wms/)

<http://tinyows.org/trac/>

<http://www.petascope.org/>

<http://pywps.wald.intevation.org/>

<http://geonetwork-opensource.org/>

<http://www.gisclient.org>

## Una prova di sensibilità di sensori accelerometrici triassiali

Maria Grazia D'Urso (\*), Mattia Crespi (\*\*), Nunzio Barbatì (\*\*\*)

(\*) Di.M.S.A.T., Università di Cassino, via G. Di Biasio 43, 03043 CASSINO (FR), Italy, Tel. +39 0776 299 4309  
Fax +39 0776 299 3939, mob.:+39 - 339 47 44 449, [duroso@unicas.it](mailto:duroso@unicas.it)

(\*\*) Area di Geodesia e Geomatica, DICEA, Università di Roma "La Sapienza", Via Eudossiana 18  
00184 ROMA, Tel. e fax 0644585097, [mattia.crespi@uniroma1.it](mailto:mattia.crespi@uniroma1.it)

(\*\*\*)Di.M.S.A.T., Università di Cassino, Via G. Di Biasio 43, 03043 CASSINO (FR), Italy  
mob.: +39 3283022961, [n.barbati@unicas.it](mailto:n.barbati@unicas.it)

### Sommario

E' noto che i sensori accelerometrici a tecnologia MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) possono comunicare in modalità wireless con un'unità di elaborazione e un sistema di trasmissione dati e possono funzionare da inclinometri; sperimentazioni preliminari in tal senso sono state condotte e presentate negli scorsi anni. In particolare, se resi solidali ad un elemento rigido, tali sensori consentono di misurare e monitorare l'inclinazione dell'elemento stesso in quanto la variazione nel tempo dell'inclinazione è rappresentativa della cinematica del punto al quale l'elemento e il sensore sono vincolati. Tale applicazione è significativa nell'ambito delle tecniche di monitoraggio geomatico low-cost, in particolare nella determinazione dei movimenti di versanti in frana in quanto è possibile ottenere informazioni sull'evoluzione cinematica della sua parte superficiale. Scopo di questo lavoro è presentare e sviluppare una prima analisi dei risultati di una prova di sensibilità di tali sensori accelerometrici triassiali tramite il sistema di misura SMAMID svolta presso l'Università di Cassino. Nella prova alcuni sensori di classe MEMS sono stati installati solidalmente ad un teodolite mediante il quale potevano essere imposti spostamenti angolari con alta precisione. La misura degli angoli tramite un accelerometro triassiale è stata condotta valutando le variazioni della componente di gravità sui tre assi, poiché il sistema SMAMID è in grado di misurare anche accelerazioni statiche. A partire da una condizione iniziale sono state imposte variazioni dell'angolo zenitale con il passo di 1 gon, registrando di volta in volta le accelerazioni in contemporanea con tre sensori MEMS. Lo scopo dell'esperienza è stato, pertanto, quello di valutare quale fosse il livello di accuratezza delle inclinazioni che si potevano ricavare dai sensori accelerometrici assumendo come riferimento quelli imposti con il teodolite. I risultati ottenuti vengono presentati e discussi.

### Abstract

It is well known that MEMS- (Micro-Electro-Mechanical Systems) based accelerometer sensors can communicate in a wireless mode both with a processing unit and with a data transmission system; moreover they can operate as inclinometers. Preliminary experiments in this direction have been conducted and presented in recent years. In particular, if the sensors are fixed to a rigid element, they allow one to measure and monitor the inclination of the same element since the variation in time of the inclination is representative of the kinematics of the point at which the element and the sensor are bound. This application is significant in the geomatic low-cost monitoring techniques, particularly in determining slope movements during landslides, at least in the superficial part of the slope. The purpose of this paper is to present the results of a sensitivity test of triaxial accelerometer sensors through the SMAMID measurement system. During such tests some MEMS-based sensors were firmly fixed to a theodolite in which angular displacements with high precision could be imposed. The measure of the angles through triaxial accelerometers has been carried out by

evaluating the variations of the gravity component on three axes, since the SMAMID system can also measure static accelerations. Starting from an initial condition, variations of the zenith angle have been imposed with step of 1 gon, recording simultaneously the three accelerations by means of three MEMS sensors. Therefore, purpose of the test was to ascertain which level of accuracy of inclinations could be derived from accelerometer sensors by taking as reference values those imposed with the theodolite. The results are presented and discussed.

### I sensori SMAMID

La recente introduzione dei dispositivi MEMS (*Micro Electro-Mechanical Systems*) ha aperto un vasto campo di studi ed applicazioni in diversi settori dell'ingegneria. La tecnologia MEMS consente di incorporare dispositivi meccanici di dimensioni micrometriche – ad esempio sensori – in un substrato di semiconduttore, integrandoli quindi in normali chip e fornendo così uno strumento utile e al tempo stesso snello ed efficace per la misura di grandezze fisiche.

Tra i sistemi di misura con sensori MEMS attualmente presenti sul mercato, si è avuta la possibilità di impiegare il sistema di misura SMAMID sviluppato dalla STRAGO S.p.A.. Una rete di misura di tipo SMAMID è composta da una o più Unità Funzionali (UF) con capacità di acquisizione e trasmissione di dati accelerometrici.

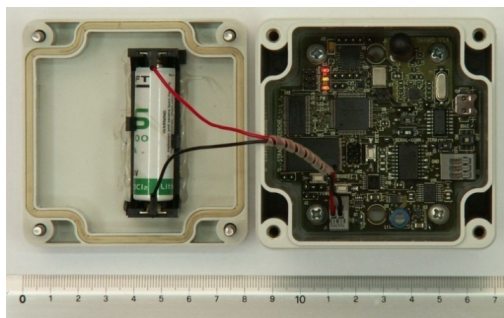


Figura 1 – Unità funzionale SMAMID.

Le caratteristiche del sistema consentono l'acquisizione contemporanea per i tre assi con parametri selezionabili ad una risoluzione di 12 bit. Le UF SMAMID sono in grado di acquisire a trigger, con soglia sulle accelerazioni, a comando manuale, a orari prefissati oppure anche in continuo. SMAMID funziona in completa autonomia: può essere alimentato sia da un pacco batterie che da un alimentatore esterno. È possibile costruire una rete di unità funzionali autonome gestite da un PC centrale, in modalità wired (RS485) o wireless (adottando un protocollo proprietario). In definitiva ciascuna UF va considerata come uno strumento di misura delle accelerazioni completamente autonomo, semplice e funzionale. Occorre precisare che la UF misura accelerazioni anche di tipo statico, come l'accelerazione di gravità; è quindi possibile in linea teorica stimare l'inclinazione rispetto alla verticale e impiegare le UF SMAMID come inclinometri.

### La prova sperimentale

In particolare nel presente lavoro si è condotto un esperimento per valutare le prestazioni di tali strumenti come inclinometri.

Lo schema di prova ha previsto l'uso di tre UF SMAMID (identificate dai codici 16, 30 e 36), installate tramite un'apposita piastra costruita per essere resa solidale ad un teodolite. Ciascuna unità UF è dotata di un accelerometro triassiale con assi di misura perpendicolari tra loro (x, y, z) che materializzano il sistema di riferimento della UF (Figura 2). La colorazione adottata in figura per le direzioni dei tre assi delle UF verrà utilizzata nel seguito per identificare grafici o valori

relativi a ciascuna di queste direzioni; inoltre, per asse o direzione di misura, si intenderà sempre quella relativa al sistema di riferimento relativo delle UF, salvo diverse specificazioni.

Lo scopo dell'esperienza è stato quello di comparare i valori di inclinazione che si possono ricavare dai sensori accelerometrici con quelli letti sul teodolite, assunti come riferimento in quanto ritenuti di accuratezza certamente superiore a quelli ottenibili dai sensori MEMS sulla base di precedenti prove sperimentali di carattere preliminare.



Figura 2 – Strumentazione di prova.

In partenza la direzione x delle UF corrisponde alla posizione zenitale del teodolite di 300 gon; l'asse z è quello verticale.

Con il teodolite si sono imposte variazioni angolari zenitali con il passo di 1 gon ad intervalli di alcune decine di secondi: si è iniziato dal valore di 300 gon e si sono raggiunti i 284 gon. Le registrazioni delle accelerazioni tramite le tre UF SMAMID sono state svolte in contemporanea pilotate da un'altra UF (master) in modalità wireless, evitando quindi qualsiasi cavo di collegamento. Le variazioni zenitali dell'asse di collimazione del teodolite consistono, in effetti, in una rotazione degli assi di misura delle UF, x, e z, rispetto all'asse y. La rotazione avviene in senso antiorario rispetto al sistema di riferimento delle UF di figura 2.

Il grafico successivo mostra l'andamento dei valori di accelerazione dell'asse x in funzione del tempo così come acquisiti dalla UF n°30 con frequenza di campionamento di 40 punti al secondo per una durata della prova di 800 secondi.

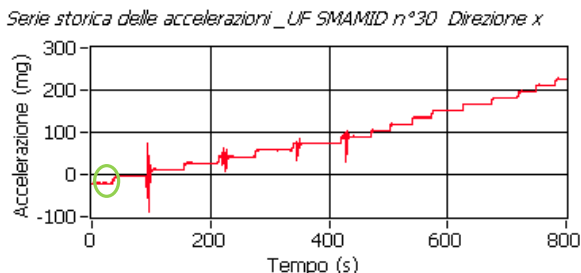


Figura 3 – Serie storica delle accelerazioni durante la prova di inclinazione; UF 30 asse x.

È immediato interpretare tale grafico: i punti dove si verificano degli incrementi improvvisi delle accelerazioni, come quello cerchiato in verde, corrispondono agli istanti in cui si varia l'inclinazione dell'asse di collimazione del teodolite e quindi l'inclinazione dell'asse x delle UF. Gli "scalini" nel segnale rappresentano quindi il passaggio da una fase alla successiva; si notano, inoltre, intervalli di alcuni secondi durante i quali l'inclinazione dell'asse di collimazione è stata mantenuta costante (e di conseguenza anche l'accelerazione non è variata).

Il valore di inclinazione può essere calcolato impiegando metodi che scelgono di combinare i valori di accelerazione rilevati su uno o più assi di misura dell'accelerometro. Nel seguito si presenta inizialmente il processo di elaborazione per il metodo monoassiale, illustrando dapprima l'approccio e, successivamente, commentando i risultati. Gli stessi ragionamenti vengono successivamente ripetuti per il metodo biassiale, effettuando infine i confronti tra i due diversi metodi di calcolo delle inclinazioni<sup>1</sup>.

### Il metodo monoassiale

Preliminare ad ogni analisi è la pre-elaborazione del dato; essa consiste nel riportare le accelerazioni nell'unità di misura desiderata, nel depurarle di effetti non voluti (quali, ad esempio, eventi impulsivi che spostano l'asse di collimazione e disturbano la misura dell'accelerazione statica) ed estrarre (con riferimento, ad esempio, ai grafici riportati in figura 3), le registrazioni relative agli intervalli temporali in cui l'asse di collimazione non si sposta o subisce disturbi di alcun genere. Il passo successivo consiste nel valutare l'accelerazione statica di un asse coinvolto nella rotazione<sup>2</sup>.

Si tenga presente che i sensori della SMAMID UF riescono a valutare sia fenomeni di natura statica, ovvero accelerazioni costanti nel tempo, sia fenomeni oscillatori di tipo dinamico, nell'ambito della banda di frequenza resa disponibile dalla frequenza di campionamento, nel nostro caso 20 Hz.

Il contenuto di accelerazione che rimane costante in un determinato tempo può quindi essere estratto semplicemente effettuando la media di tutti i campioni in quel tempo; in tal modo le variazioni dinamiche vengono eliminate dal segnale. Selezionando un intervallo avente durata T in cui il teodolite è fermo, si può calcolare un valore medio di accelerazione statica per la direzione x nel tempo T, nel seguito semplicemente indicato come  $\overline{A_x}$ . Questa grandezza tiene conto non solo della componente relativa di gravità in direzione x,  $A_{xg}$ , ma anche del valore di offset strumentale  $A_{xoff}$ , che è sempre presente e variabile per ciascun accelerometro e che deve essere valutato ed eliminato dalle osservazioni:

$$\overline{A_x} = A_{xoff} + A_{xg} \quad [1]$$

Nell'ipotesi che il valore di offset non vari in maniera significativa tra le misure effettuate a diversi valori di inclinazione angolare (cioè in tempi diversi), si può ottenere la variazione di inclinazione per differenza, assumendo una misura di riferimento iniziale. L'ipotesi di valore di offset costante è confermata da precedenti esperienze di misura eseguite con tale sistema di sensori SMAMID resi solidali ad un teodolite; nel corso di tali esperienze si è constatato che, effettivamente, il valore di offset non è variato per l'intera sessione di misura (D'Urso et Al., 2010).

Applicando tale ipotesi direttamente alle misure ottenute nel test di inclinazione essa viene ulteriormente chiarita. Si consideri ad esempio di voler ricavare il valore di inclinazione con il segnale di accelerazione nella direzione x corrispondente alla lettura dell'angolo zenitale pari a 299 gon. Si considerino i grafici degli intervalli temporali della figura 3 in cui l'asse di collimazione del teodolite è posto a 300 e 299 gon.

<sup>1</sup> Si noti che con inclinazione limitata al piano xz, non ha senso proporre un metodo con i tre assi, in quanto l'asse y non risente di nessuna variazione;.

<sup>2</sup> Sebbene la rotazione dovrebbe essere rilevata sia sulla componente z che sulla componente x dell'accelerazione, in genere si impiega l'asse meno soggetto all'accelerazione di gravità, ovvero nel nostro caso l'asse x, per le ragioni che saranno evidenziate nel seguito.



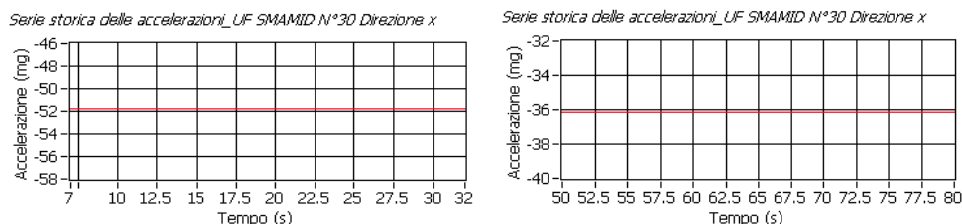


Figura 4 – Serie storica accelerazioni - prova di inclinazione UF 30 asse X gon 300 (sinistra) e gon 299 (destra).

Su queste due serie storiche di valori di accelerazioni si possono calcolare i valori mediati tra tutti i campioni, ottenendo due grandezze  $\bar{A}_x(300)$ ,  $\bar{A}_x(299)$ .

Considerando il sistema di riferimento della prova e considerando che le accelerazioni sono espresse in unità di g (accelerazione di gravità), in maniera che il modulo totale delle accelerazioni rimanga sempre costante ed uguale ad 1 g, si può scrivere semplicemente:

$$\alpha(299) = \sin^{-1} A_{xg}(299) \quad [2]$$

Poiché si è supposto che il valore di offset sia costante e poiché a 300 gon si può ritenere  $A_{xg}$  praticamente nullo (potendosi assumere il sensore orizzontale in corrispondenza della prova con angolo zenitale di 300 gon), è sufficiente depurare il valore di accelerazione ottenuto a inclinazione 299 del valore di  $\bar{A}_x(300)$  che si ottiene nella prova a 300 gon (assunto quindi uguale all'offset), ossia:

$$A_{xg}(299) = \bar{A}_x(299) - \bar{A}_x(300) = A_{xg}(299) + A_{xoff} - A_{xg}(300) - A_{xoff} \quad [3]$$

nell'ipotesi che

$$A_{xg}(300) = 0 \quad [4]$$

In questo modo, sfruttando i valori medi delle accelerazioni ricavabili dai grafici, si ottiene un valore di  $0.895^\circ$ , corrispondente a circa 0.994 gon, ovvero molto prossimo alla variazione di 1 gon, e cioè al valore atteso. Si può quindi procedere analogamente per le altre inclinazioni imposte.

### I risultati per l'asse x

Il metodo illustrato in precedenza permette di calcolare tutte le inclinazioni. I risultati sono riassunti in un grafico di confronto tra i valori angolari misurati, cioè quelli ricavati dalle accelerazioni, e i valori angolari attesi, ossia quelli imposti al teodolite espressi in gon.

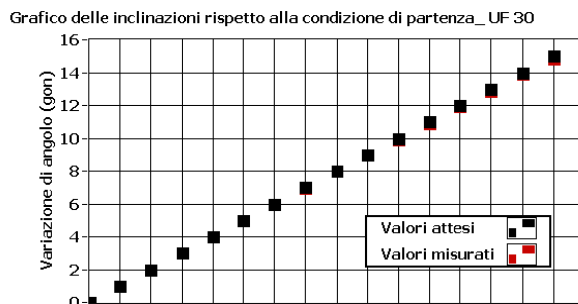


Figura 5 – Valori inclinazione misurati ed attesi UF 30 metodo singolo asse (asse x).

Si evince dalla figura 5 che le differenze sono davvero minime, con una leggera sottostima nei valori ricavati dalle accelerazioni. Per valutare queste differenze nel dettaglio si riporta poi un grafico con i valori di scarto sia in termini assoluti (valore atteso meno valore misurato), che in

termini relativi, normalizzando lo scarto assoluto per il valore atteso, cioè quello del teodolite. Sull'asse delle ascisse, per rendere immediato il confronto con la relativa sessione di prova, le inclinazioni sono espresse in gon.

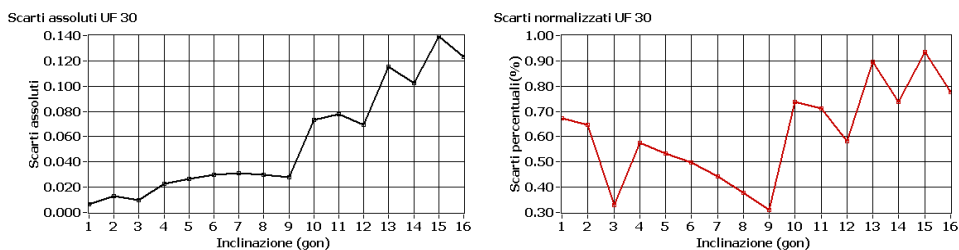


Figura 6 – Valori scarti UF 30 metodo singolo asse (asse x); scarti assoluti (sinistra), scarti normalizzati (destra).

Dal grafico degli scarti assoluti, si nota con chiarezza che le differenze, in valore assoluto, tra il valore reale e il valore misurato aumentano con l'inclinazione. Inoltre, questa variazione prevede sempre una sottostima del valore misurato. Si deve infine sottolineare che lo scarto normalizzato non ha un andamento ben definito, sebbene una tendenza ad aumentare con l'inclinazione si evidenzia dal valore di 10 gon in poi; in ogni caso esso è al di sotto dell'1%.

Si riassume in una tabella il valore dello scarto medio (in gon) ottenuto come media tra gli scarti che si ottengono alle diverse inclinazioni per tutte e tre le UF impiegate.

| Inclinazione raggiunta<br>(gon) | Scarto medio UF 16<br>(gon) | Scarto medio UF 30<br>(gon) | Scarto medio UF 36<br>(gon) |
|---------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 11 (11 step -1-11 gon)          | 0.04                        | 0.03                        | 0.05                        |
| 16 (16 step -1-16 gon)          | 0.07                        | 0.05                        | 0.08                        |

Figura 7 –Scarti medi per UF metodo singolo asse (asse x).

In definitiva, per tutte le UF si evince, per inclinazioni superiori ai 10 gon, una tendenza all'incremento dell'errore. Considerando un valore di risoluzione di accelerazione minimo di 1 mg, risulta che il minimo valore apprezzabile di angolo, in linea teorica, è 0.07 gon. Assumendo il valore dell'errore di risoluzione delle UF SMAMID di 1 mg, pari alla loro precisione strumentale<sup>3</sup>, in linea con altre esperienze e con dati di letteratura, risulta che i valori di inclinazione sono affetti almeno da un errore di 0.07 gradi centesimali. Pertanto, gli scarti medi ottenuti sono in linea con questo errore.

### I risultati per l'asse z

Poiché l'inclinazione si svolge nel piano xz, le variazioni della componente di gravità dovrebbero rispecchiarsi in maniera analoga anche sull'asse z delle accelerazioni. Si mostra un grafico delle accelerazioni rilevate in z, distinguendo due fasi di variazione degli angoli in due grafici diversi.

<sup>3</sup> Il valore di 1 mg come risoluzione è da intendersi valido nel caso di acquisizioni a 40 Hz e per i soli assi orizzontali. Supponendo di considerare la precisione uguale alla risoluzione si trascurano altre fonti di errore quali la non linearità o la correlazione con altri assi, il cui contributo in questa prima fase di esperienza di misura si considera trascurabile.

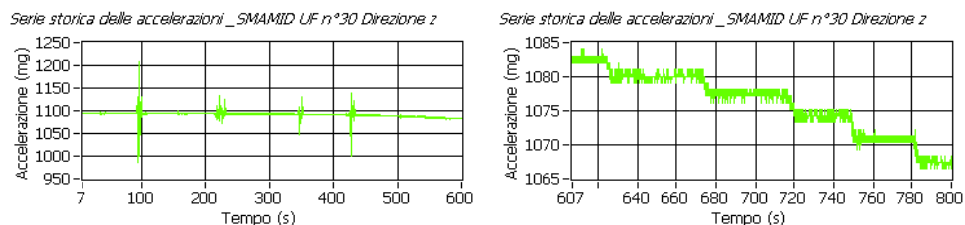


Figura 8 – Serie storica accelerazioni asse z UF 36; variazione da 300 a 289 gon (sinistra); variazione da 289 a 284 gon (destra).

Dall'esame della figura 8 è immediato notare che è riscontrabile il tipico andamento a scalini, ben visibile in sulla componente x, soltanto dopo cinque variazioni angolari: il valore delle accelerazioni è praticamente costante a parte gli istanti in cui si varia l'asse di collimazione e le UF risentono di effetti dinamici.

In linea con i ragionamenti precedenti, la formula da impiegare per il calcolo è:

$$\alpha = \cos^{-1} \frac{A_{gz}(\text{gon})}{A_{gz}(\text{gon})} \quad [5]$$

dove

$$A_{gz}(\text{gon}) = \bar{A}_{gz}(\text{gon}) - A_{zoff} \quad [6]$$

L'angolo per l'inclinazione di un gon deve essere calcolato come la variazione del coseno tra i 300 e i 299 gon; in tal modo si ottiene una componente di accelerazione statica  $A_{gz}$  di 999.8 mg, ovvero uno scarto di soli 0.12 mg rispetto al valore di gravità 1000 mg normalmente presente all'inizio. Questo corrisponde ad una variazione minima di accelerazione che si confonde nell'errore di risoluzione, stimato per l'asse z in 3 mg<sup>4</sup>. Applicando questo ragionamento, il primo valore di inclinazione ricavabile sull'asse z (0.997 g) si ritrova ad una variazione di almeno 5 gon. Pertanto, è ragionevole affermare che dai grafici precedenti non si evinca nessuna variazione della componente z prima di superare una soglia critica di 5-6 gon di inclinazione. Pur escludendo questi primi punti e procedendo nel calcolo delle inclinazioni in maniera analoga al caso dell'asse x, si nota che le differenze rispetto ai valori attesi sono notevoli.

Si riportano gli andamenti degli scarti rispetto ai valori attesi. I grafici mostrano una chiara tendenza alla diminuzione degli scarti con l'aumento dell'inclinazione; ad esempio gli scarti normalizzati diminuiscono dal 70% al 10%.

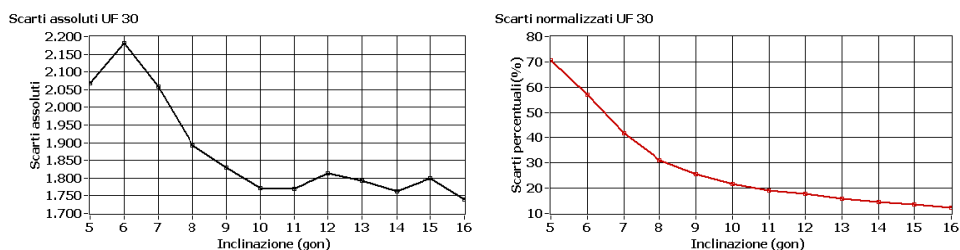


Figura 9 – Valori scarti UF 30 metodo misura singolo asse (asse z).

<sup>4</sup> Per l'asse z l'errore di risoluzione è stimato pari a 3 mg, contrariamente agli assi x-y dove è valutato pari ad 1 mg. È una caratteristica costruttiva di SMAMID. Procedendo all'inverso ed inserendo i valori di risoluzione si possono ricavare i valori minimi di angolo rilevabili, considerando una condizione di partenza con l'asse z parallelo alla gravità, tali angoli risultano: 0.07 gon per l'asse x e 5 gon per l'asse z. Tale calcolo è stato eseguito supponendo un offset nullo.

### Il metodo biassiale

Incrociando i risultati sugli scarti che si ottengono con i due metodi, si nota che l'errore che si commette con l'accelerazione dell'asse x tende ad aumentare man mano che aumenta l'inclinazione; al contrario per l'asse z, sembra che all'aumentare della variazione lo scarto tenda leggermente a ridursi. Per provare a bilanciare tali effetti si può impiegare la funzione tangente che valuta entrambi gli assi di misura nello stesso tempo. In questo caso la funzione da impiegare per calcolare le inclinazioni è:

$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{AQ_x(\text{gon})}{AQ_z(\text{gon})} \right) \quad [7]$$

ove, come definito in precedenza, valgono

$$AQ_z(\text{gon}) = \bar{A}_z(\text{gon}) - A_{zoff}; \quad AQ_x(\text{gon}) = \bar{A}_x(\text{gon}) - A_{xoff} \quad [8]$$

Dal grafico che segue in figura 10 si evince che la tendenza dello scarto aumenta con l'aumentare della inclinazione.

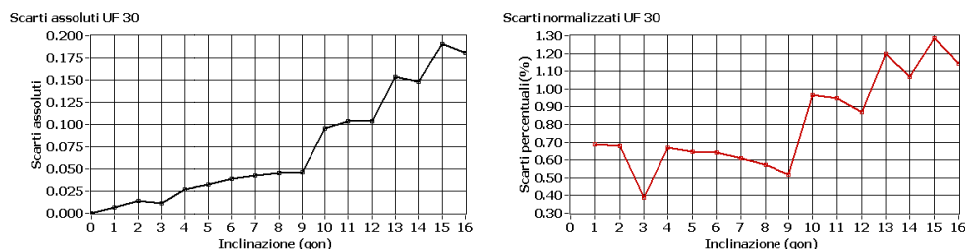


Figura 10 – Valori scarti UF 30 metodo misura 2 assi.

Gli scarti, sia nei valori che negli andamenti, appaiono quindi abbastanza simili al metodo con un asse in direzione x, pertanto appare utile riportare una tabella con i valori medi degli scarti per le tre UF così da poter confrontare il valore di questi scarti con quelli del metodo monoassiale. Si può notare che gli scarti del metodo biassiale sono leggermente superiori a quelli ottenuti con il metodo ad un asse in direzione x; tuttavia il contributo di errore determinato dall'impiego dell'asse z, nel metodo biassiale viene di molto attenuato e i valori di scarto per le inclinazioni sono vicini a quelli che si ottengono dalla sola analisi con asse x. Il metodo monoassiale nella direzione x è sicuramente quello più efficace per piccole inclinazioni; tuttavia si presume che avvicinandosi ai 45°, la preferenza rispetto al metodo a due assi, si inverte, rendendo quindi impossibile la misura con il singolo asse per intervalli di inclinazione più ampi. In virtù di questi risultati è ragionevole supporre che il metodo a 2 assi possa presentare il notevole vantaggio di essere applicabile su un intervallo di inclinazioni molto più ampio.

| Inclinazione raggiunta (gon) | Scarto medio UF 16 (gon) | Scarto medio UF 30 (gon) | Scarto medio UF 36 (gon) |
|------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 11 (11 step -1-11 gon)       | 0.04                     | 0.04                     | 0.08                     |
| 16 (16 step -1-16 gon)       | 0.08                     | 0.07                     | 0.11                     |

Figura 11 – Confronto scarti metodo 1 asse x, metodo 2 assi.

### Una stima preliminare delle incertezze

Si è indagata preliminarmente, ma certamente ulteriori analisi sono necessarie, la stima delle incertezze con cui possono essere calcolate le inclinazioni. È interessante valutare se gli scarti in valore assoluto (valore reale - valore misurato) ottenuti con i diversi metodi siano compatibili con le

incertezze che si possono prevedere supponendo come unica fonte di errore quelli noti del sistema di misura SMAMID<sup>5</sup>. A tal riguardo si è ipotizzato, in base ad altre esperienze di misure effettuate con SMAMID, che nelle condizioni di prova<sup>6</sup> la precisione sia uguale al valore minimo di risoluzione (1 mg) e che lo strumento risulti lineare nel range di misura.

Si è verificato che per il metodo monoassiale le incertezze previste in tal modo sarebbero più basse, quasi di un ordine di grandezza, rispetto agli scarti ottenuti dal confronto con i valori del teodolite. La natura delle differenze tra gli scarti medi delle diverse UF andrebbe ricercata nell'ambito di una più approfondita valutazione delle fonti di incertezza della risoluzione nella misura delle accelerazioni delle UF SMAMID quali variazioni di offset, fattori di conversione differente, in questa fase trascurati; tali componenti di errori potrebbero essere significative anche per la determinazione dell'offset.

### Conclusioni

Le prove preliminari svolte presso l'Università di Cassino hanno consentito di conseguire i seguenti risultati. Innanzitutto si è assicurato il corretto funzionamento del sistema di misura di sensori accelerometrici MEMS con sistema di misura SMAMID; tale sistema è composto da unità funzionali (UF) ciascuna dotata di accelerometro triassiale, gestibili in modalità di rete wireless da un PC centrale. Inoltre è stato verificato che, tramite opportuni processi di trattamento dei dati, le accelerazioni registrate con le UF sono utilizzabili per l'estrazione di informazioni sull'inclinazione. È stata svolta una prova di rotazione nel piano xz, registrando le accelerazioni di tre UF installate solidalmente ad un teodolite fatto opportunamente ruotare con il passo di 1 gon in un intervallo definito, facendo variare l'angolo zenitale da 300 a 284 gon.

Per l'elaborazione dei risultati si sono implementati due metodi diversi, uno che impiega i valori di accelerazione di ciascuna UF di un singolo asse, l'altro che cerca di combinare le accelerazioni relative a 2 assi. Per le variazioni di angolo impostate nella prova sperimentale si sono ottenuti dei risultati preliminari di inclinazione ricavata a partire dai valori di accelerazione misurati lungo l'asse x. Viceversa, il valore di inclinazione ottenuta da misure di accelerazione lungo l'asse z ha riscontrato degli errori non accettabili; questa difficoltà relativa all'uso dell'asse z è in parte giustificata dal fatto che per le prime variazioni di inclinazione, il valore di accelerazione lungo z rimane inferiore al limite strumentale di risoluzione dell'accelerazione. Si è, inoltre, notato che all'aumento di inclinazione lo scarto ottenuto con il metodo relativo all'asse x tende ad aumentare; viceversa lo scarto ottenuto con il metodo relativo all'asse z tende a diminuire. Con il metodo a due assi si sono ottenuti scarti leggermente maggiori rispetto al metodo con asse x, ma si è riscontrato il vantaggio di poter impiegare le accelerazioni anche quando uno dei due assi raggiunge il limite di risoluzione.

Considerando tutte le variazioni angolari impostate durante la prova sperimentale, lo scarto tra i valori angolari reali e quelli misurati, ossia determinati attraverso le misure di accelerazione misurate mediante la componente lungo l'asse x, è pari a circa 0.05 gon, intendendo questo valore come quello medio tra le tre diverse UF. Viceversa, impiegando il metodo biassiale per gli stessi dati sperimentali si raggiunge un valore di scarto assoluto di 0.08 gon. In ogni caso stimando, almeno in prima approssimazione, un valore di precisione strumentale dei sensori UF SMAMID intorno a 0.07 gon, è possibile affermare in via preliminare che, in termini medi, sia il metodo monoassiale lungo l'asse x che il metodo biassiale forniscono valori di inclinazione comparabili con quelli imposti al teodolite.

Ciò consente di affermare che il metodo biassiale è utile per variazioni angolari che possono coprire l'intero range di misura dell'inclinazione. Al contrario per piccole variazioni di angolo dovrebbe essere sufficiente applicare il metodo monoassiale, considerando l'asse meno soggetto alla componente di gravità, perché affetto da errore inferiore.

---

<sup>5</sup> Si è considerato l'errore di lettura del teodolite molto più piccolo dell'errore di accelerazione della UF.

<sup>6</sup> Scala a 2 g, 3 assi, frequenza di campionamento di 40 Hz.

L'applicazione di questi metodi ad una rete di accelerometri (inclinometri) di tipo SMAMID consentirebbe un approccio multisensore e distribuito con i vantaggi della connessione wireless e dell'alimentazione a batteria; pertanto esso potrebbe costituire un interessante sistema di misura in ambito geomatico anche per il monitoraggio di fenomeni a lenta variabilità, quali le frane.

Restano però da approfondire alcuni aspetti relativi all'errore ed alla precisione di tali metodi di elaborazione, al fine di comprenderne i limiti e ottimizzarne le applicazioni. In quest'ottica saranno svolte a breve ulteriori campagne di prova orientate a misurare su un intervallo di inclinazione più esteso e ad impiegare anche altri sensori di inclinazione di tipo tradizionale per una ulteriore comparazione.

### **Bibliografia**

- [1] A. Baldi "M.E.M.S. Micro Electro Mechanical Systems" - DIADI 2000 - Ricerca % Impresa per l'innovazione in Piemonte
- [2] K. Tuck, "Tilt Sensing Using Linear Accelerometers" from Freescale Semiconductor Application Note, AN3461 Rev 1, 05/2007
- [3] S. Nasiri, D. Sachs, M. Maia (InvenSense) "Selection and integration of MEMS-based motion processing in consumer apps" – DSP Design Line
- [4] ST Microelectronics "LIS3LV02DQ: 3-Axis -  $\pm 2g/\pm 6g$  digital output low voltage linear accelerometer" - AN2041 Application Note
- [5] Avnet, Silica, Analog Devices "High Performance MEMS Inertial Sensors for Industrial Applications" - from "Best of Sensors Expo 2010"
- [6] STRAGO SPA, S.Infante, Guida all'uso del sistema SMAMID, 2010
- [7] M.G. D'Urso, F.Cavaliere, M. Crespi "Sensori accelerometrici per il monitoraggio in continuo di versanti in frana" - Atti 14ª Conferenza Nazionale ASITA- Brescia, 2010

### **Ringraziamenti**

Si ringrazia la STRAGO Spa per aver messo a disposizione la strumentazione SMAMID per svolgere le prove e la necessaria assistenza nell'impiegare il sistema nelle modalità più indicate ai nostri scopi.

Un ringraziamento particolare va all'ing. Giovanni Mannara per l'attenzione mostrata verso le tematiche di ricerca e la lungimiranza dimostrata nella realizzazione di tali sistemi di misura.

## **Procedura d'aggiornamento dell'edificato nel Database topografico tramite l'Infrastruttura per l'Informazione Territoriale regionale**

Donata Dal Puppo, Monica Segre

Regione Lombardia, D.G. Territorio e Urbanistica, Struttura Strumenti per il Governo del Territorio  
donata\_dal\_puppo@regione.lombardia.it, monica\_segre@regione.lombardia.it

La realizzazione del database topografico – DbT- in Regione Lombardia interessa ormai l'80% dei comuni, pertanto ci si è posti l'obiettivo di definire modalità di aggiornamento dei dati al fine di poter avere una conoscenza condivisa tra enti ed aggiornata in modo sincrono alle trasformazioni del territorio.

La manutenzione dell'aggiornamento della conoscenza territoriale non è solo utile per la pianificazione territoriale ma anche utile ai Comuni per integrare al dato territoriale i dati delle anagrafi ( persone, attività produttive, fiscalità,...) per un utilizzo incrociato dei dati al fine di una efficiente gestione ed un puntuale controllo del territorio.

La messa a punto delle procedure amministrative informatizzate dei diversi settori deve mantenere l'aggancio alle banche dati di riferimento comune (catasti anagrafici e territoriali ) e fare in modo che le stesse procedure producano gli aggiornamenti alle banche dati trattate.

A partire da alcune esperienze pilota già messe a punto da enti locali della Lombardia e tramite un confronto fattivo in incontri denominati “laboratori progetti prototipali per l'aggiornamento del DbT” si è definito un progetto operativo per dare applicazione omogenea alla gestione degli aggiornamenti del database topografico a livello locale e conseguentemente del database topografico a livello regionale tramite le funzioni della Infrastruttura per l'Informazione Territoriale regionale: IIT.

Il percorso costituisce la specifica per dare attuazione alla normativa regionale per il Governo del Territorio- l.r.12/2005, articoli 35 comma 4 bis e 42 comma 14, ove prevede che la Giunta Regionale definisca termini e modalità secondo cui il titolare del permesso di costruire presenti, al termine dei lavori, gli elaborati di aggiornamento del database topografico in formato digitale.

La proposta approfondisce e declina in termini operativi il “Quadro di riferimento per l'aggiornamento del Database topografico e l'interscambio con le banche dati catastali” approvato nel luglio 2010.

Il flusso complessivo è descritto in uno specifico Atto di indirizzo e coordinamento tecnico per l'attuazione degli articoli 3, 35 e 42 della l.r.12/2005 “Flusso di aggiornamento del database topografico nella Infrastruttura per l'Informazione Territoriale: procedura Edifici: FLU.TE-proposta operativa 2011”.

La procedura Flu.T.E. si colloca al termine dei lavori di costruzione o di modifica dell'edificato, essa prevede il coinvolgimento delle seguenti cinque figure funzionali:

il professionista; il Registro degli Sportelli Unici per l'Edilizia (Registro SUED); il Gestore dello Sportello Unico per L'Edilizia (Gestore SUED); il Comune; il Gestore del Database Topografico Locale (Gestore DbTL).

Le funzioni del Gestore SUED, del Comune e del Gestore DbTL possono essere esercitate dal medesimo soggetto: il Comune ( nel caso di Comuni grandi ) o da un soggetto delegato dai comuni



in forma di Centro servizi sovracomunale, nel caso di comuni piccoli. Le modalità organizzative sono lasciate alla capacità organizzative ed alle scelte locali.

Si prevede che la funzione Registro SUED venga esercitata dalla Regione.

Il flusso procedurale prevede in estrema sintesi le fasi di seguito illustrate.

Il professionista rileva i dati di aggiornamento DbTL contemporaneamente al rilievo dei dati per l'aggiornamento catastale, estrae lo stralcio del DbTL dell'area di interesse, confeziona i dati secondo modalità standard comprensive sia della componente geometrica che della componente descrittiva, organizzata in schede, ne effettua la verifica di qualità informatica e li invia al Registro SUED.

Il Registro SUED, previa verifica di conformità, invia i dati al Gestore SUED competente, che rilascia una ricevuta al professionista e invia i dati al Comune e al Gestore DbTL.

Il comune può effettuare dei controlli di qualità sui contenuti per accertarsi che rispettino quanto effettivamente è stato costruito o modificato sul territorio. Il Gestore DbTL riceve i dati e provvede all'aggiornamento del DbTL ed alla sua pubblicazione. Inoltre invia periodicamente il DbTL aggiornato a Regione Lombardia.

L'invio dei dati potrà avvenire tramite PEC o web service o in cooperazione applicativa.

Regione Lombardia provvede allo sviluppo di un'applicazione desktop per i controlli formali della documentazione predisposta dal professionista.

La principale funzione della Regione Lombardia è mantenere, tramite i meccanismi di funzionamento della IIT, un DbT regionale integrato e aggiornato (DbTR) attraverso la cooperazione di diversi soggetti Gestori del DbTL, concedendo loro ampia autonomia nella scelta dei propri strumenti di gestione dei dati e nella definizione del contenuto aggiuntivo e della strutturazione del proprio DbTL, nel rispetto di alcuni vincoli atti a garantire l'integrazione a livello regionale.

L'architettura complessiva prevede che il DbTR sia elaborato dalla composizione dei DBTL e che ogni soggetto gestore del DBTL sia responsabile degli aggiornamenti del proprio territorio.

I contenuti informativi comuni sono definiti nel documento "Schema concettuale del DBTR" adeguato agli standard definiti dal CISIS, ed il trasferimento dei lotti di aggiornamento avverrà in formato di interscambio basato su formato shapefile.

I meccanismi di funzionamento sono descritti nel documento di linee guida per la cooperazione tra Regione ed Gestori del data base topografico locale nella IIT regionale.

Tutte le attività descritte saranno applicate in via sperimentale prima di divenire cogenti.

La presente relazione è frutto del lavoro effettuato in collaborazione con un nutrito gruppo di enti locali, che non è possibile menzionare per ragioni di spazio, si ringraziano tutti rimandando ai documenti menzionati.

Si citano e ringraziano solo coloro che hanno materialmente scritto parti dei testi: Alberto De Luigi, Matteo Masini (Regione Lombardia), Marco Panebianco, Stefano Gelmi (Lombardia Informatica), Franco Guzzetti, Giuseppe Pelagatti (Politecnico di Milano), Federica Liguori, Fabio Petterini (Comune di Milano).

## SIQA ® Sistema Informativo della Qualità

Nicola Dalla Torre (\*), Emiliano Baldo (\*\*)

(\*) Nicola Dalla Torre per Sea spa via Unterveger 52, 38121 Trento, Tel. 0461433433

Fax 0461433444, email: [dallatorre.nicola@grupposea.net](mailto:dallatorre.nicola@grupposea.net)

(\*\*) Emiliano Baldo per New Data Informatica, loc. Le basse 3, 38123 Mattarello Trento

### Sommario

**SIQA®** (Sistema Informativo della Qualità Ambientale) è un *software* nato dall'esperienza maturata da SEA spa nella gestione/implementazione dei dati inerenti il monitoraggio ambientale. SIQA è un *software* basato su un GIS open source (Mapserver) e su un database engine professionale (SQL Server). SIQA è localizzato su un server locale o web che unisce la versatilità di maschere di dettaglio per l'inserimento dei dati sul monitoraggio delle diverse componenti ambientali (banca dati) a un GIS, utilizzabile attraverso il proprio *browser* preferito accedendo mediante credenziali di autenticazione, che può visualizzare cartograficamente i punti di monitoraggio, la loro estensione e diverse mappe tematiche.

### Abstract

**SIQA®** (*Environmental Quality Information System*) is a software developed by SEA spa experience gained in the management / implementation of data concerning the environmental monitoring.

*SIQA is a software based on an open source GIS (Mapserver) and a powerful database engine (SQL Serve) that combines the versatility of detailed edit forms of monitoring data on different environmental components with a powerful GIS that can display maps of monitoring points, their extent and possible thematic maps.*

### Introduzione

SEA spa e New Data Informatica hanno creato un sistema informativo completo di banca dati e *webgis Open source* per la gestione e la visualizzazione dei dati del territorio per enti pubblici e società che intendono gestire tutti i propri aspetti ambientali conformemente ai più diffusi sistemi di gestione Qualità e Ambiente.

SIQA (Sistema informativo della Qualità Ambientale) nasce dall'esperienza di SEA spa e New Data nella consulenza ambiente, qualità e nella gestione del monitoraggio ambientale. Numerosi clienti da tempo richiedevano un sistema informativo in grado di gestire scadenziari, normative e dati ambientali e sulla sicurezza organizzati come i sistemi di gestione ambiente e qualità.

Per questo si è creato un sistema flessibile e implementabile in grado di soddisfare le richieste dei clienti. La flessibilità si è tradotta nella creazione di un sistema informativo modulare che può gestire un intero territorio, così come un unico sito aziendale.

Le caratteristiche comuni ai quattro moduli di SIQA sono la facile e veloce consultazione attraverso il proprio *browser* preferito, l'inserimento dei dati attraverso l'utilizzo di maschere di facile consultazione e la ricerca e la consultazione dei dati anche attraverso interrogazioni sulla banca dati alfanumerica e attraverso ricerche sulla cartografia tematica.



Figura 1 – SIQA nella sua schermata iniziale con tutti i moduli caricati.

Nei paragrafi seguenti descriveremmo i quattro moduli principali del SIQA:



### SIQA URB (Sistema informativo della Qualità Ambientale Urbanistica)

SIQA URB nasce principalmente per enti come comuni, comunità montane e di valle che devono gestire vaste porzioni di territorio attraverso l'utilizzo di strumenti mappe tematiche comunali quali Piano regolatore, mappe catastali ecc...

SIQA URB come tutti i moduli di SIQA è dotato di una parte alfanumerica e di una parte cartografica.

Per quanto riguarda la banca dati alfanumerica è formata da maschere di inserimento dati facili e funzionali attraverso le quali è possibile inserire le pratiche edilizie (Concessioni, DIA, SIA) e stampare i documenti necessari per l'istruttoria delle pratiche.

| Urbanistica             |            | Ambiente           |             | Sistema di gestione |             | Anagrafiche |             |               |  |                         |  |                           |  |          |  |                                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|-------------------------|------------|--------------------|-------------|---------------------|-------------|-------------|-------------|---------------|--|-------------------------|--|---------------------------|--|----------|--|--------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Sei in: Elenco pratiche |            |                    |             |                     |             |             |             |               |  |                         |  |                           |  |          |  |                                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Nuovo                   |            | Solo provvedimenti |             | Solo in corso       |             | CDU         |             | Pubblicazione |  | Esporta (formato Excel) |  | Help filtri e ordinamento |  | Progetto |  | P204 PREC. - 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 - Succ. ULTIMA |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                         | N. prov. a | Data prov. a       | Nr. cart. a | Ann. cart. a        | Richiedente | Beneficiari | Progettisti |               |  |                         |  |                           |  |          |  |                                                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Figura 2 – Elenco Pratiche in Banca Dati Alfanumerica.



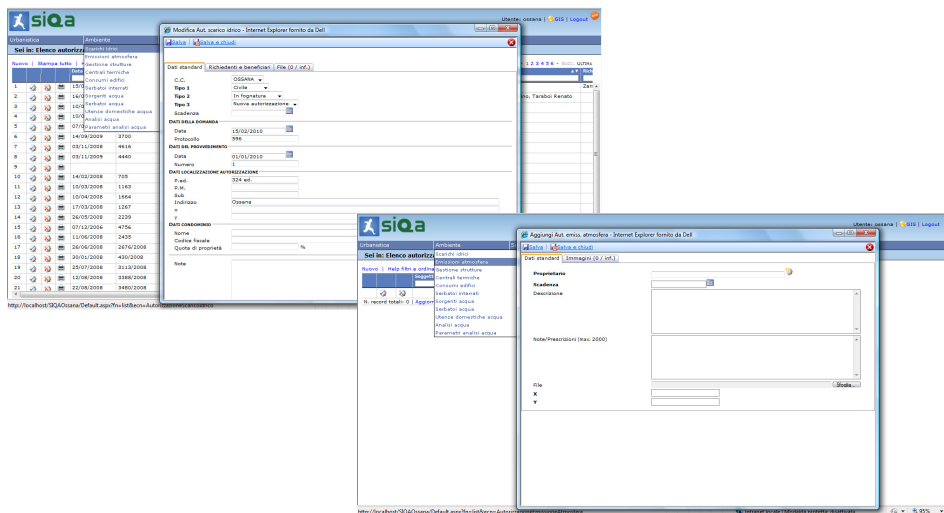


Figura 5 – Maschere di inserimento dei dati ambientali sugli scarichi e sulle emissioni in atmosfera.

### SIQA QUAL (Sistema informativo della Qualità Ambientale Qualità)

SIQA QUAL è sviluppato per la gestione dei documenti della Qualità secondo la norma ISO 9001:2008, delle Non Conformità, delle scadenze normative e degli adempimenti legislativi e della valutazione degli aspetti ambientali specifici per ogni comune /azienda secondo le indicazioni della norma ISO 14001:2004 e del regolamento EMAS 1221/2009.

E' possibile gestire gli aspetti ambientali di un'azienda attraverso le norme applicabili, gli adempimenti, la significatività e gli obiettivi legati all'aspetto significativo.

Per esempio se un'azienda ha alcuni camini che danno luogo ad emissioni in atmosfera, viene evidenziata la legislazione ed i limiti ambientali a cui questi camini devono sottostare, vengono evidenziati i camini con le ultime analisi effettuate ed il rispetto dei limiti imposti dalla legge. Se questi limiti vengono a volte raggiunti viene evidenziato come obiettivo la messa a punto di un nuovo sistema di abbattimento degli inquinanti.

Tutto attraverso un unico strumento ed un unico flusso informativo guidato da consulenti esperti.

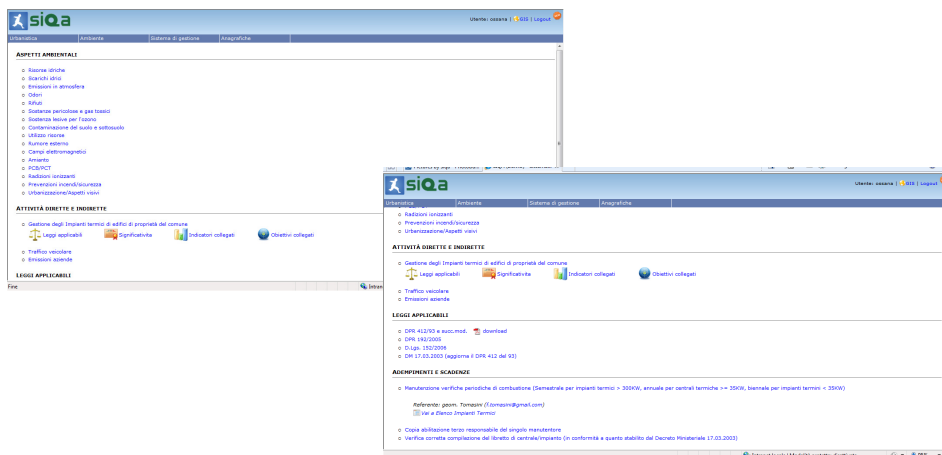


Figura 6 – Gestione degli aspetti ambientali, delle leggi applicabili, della significatività e degli obiettivi ad essi legati.

Nella sezione news legata a SIQA QUAL ogni mese sono messe in evidenza le principali scadenze del proprio ente/azienda e le nuove norme applicabili con relativi adempimenti.

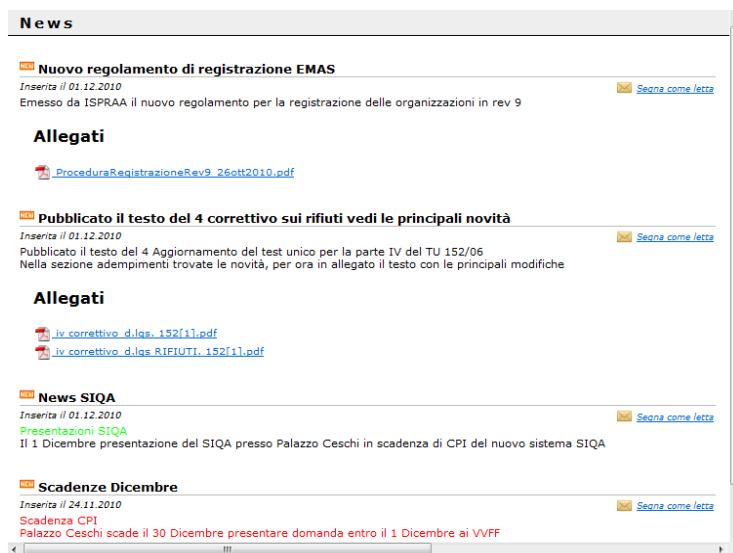


Figura 7 – Schermata scadenze e news normative.

### SIQA MON (Sistema informativo per la Qualità Ambientale ed il Monitoraggio)

SIQA MON nasce per il monitoraggio dei siti inquinati. Attraverso questo strumento è possibile monitorare:

- Acqua (acque sotterranee e superficiali) attraverso i diversi punti di misura (piezometri, prelievi sorgenti e acque superficiali)
- Terreni (caratterizzazioni di terre e rocce da scavo e di rifiuti) con l'inserimento dei dati delle analisi e gli eventuali parametri fuori norma
- Aria (punti di emissione o centraline fisse e mobili) con inserimento di punti di monitoraggio dell'aria

SIQA MON permette il facile inserimento di tutti i dati da parte dei Laboratori o delle aziende che stanno effettuando il monitoraggio di uno o più siti inquinati o aree da monitorare attraverso l'accesso a internet di un *personal computer*.

Permette la validazione dei dati da parte del responsabile del monitoraggio,

**Permette la visualizzazione dei dati o delle mappe di restituzione dei dati (per es. raster sullo stato di inquinamento della falda) o report allegati (grafici sullo stato di alcuni parametri di monitoraggio nel tempo) da parte degli utenti finali (amministrazioni pubbliche, enti di controllo e cittadini).**

In queste immagini si può vedere come SIQA riesca a visualizzare i dati territoriali a partire dal catasto fino alle carte tematiche del territorio, quali ad esempio aree di rischio geologico e idrogeologico. Inoltre è possibile caricare tutte le mappe tematiche estrapolati dagli studi sulle aree bonificate quali ad esempio mappe dell'andamento della falda freatica, mappe della dispersione degli inquinanti nel suolo, nella falda o nell'aria.

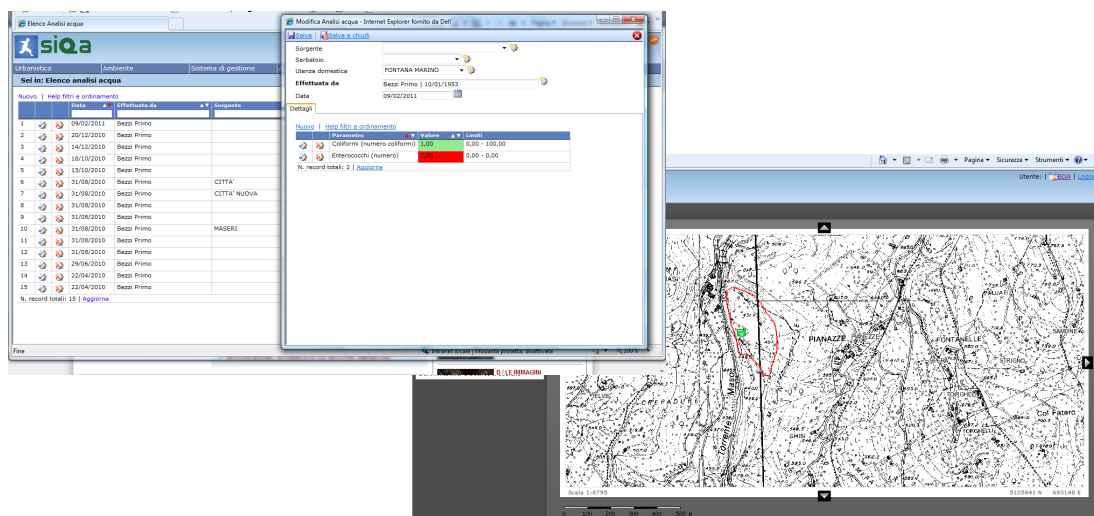


Figura 8 – Alcune esempi del GIS SIQA per la demo per la Discarica di Scurelle con la visualizzazione del sito e delle mappe di base.

Altre importanti funzioni di SIQA sono presenti nella banca dati alfanumerica che può contenere e visualizzare come si vede nelle immagini sottostanti migliaia di dati sui campionamenti e sulle analisi effettuate sulle matrici suolo, aria ed acqua. Nel contempo vengono messi in evidenza i valori al di fuori della norma con diverse colorazioni a seconda della gravità dell'inquinamento.

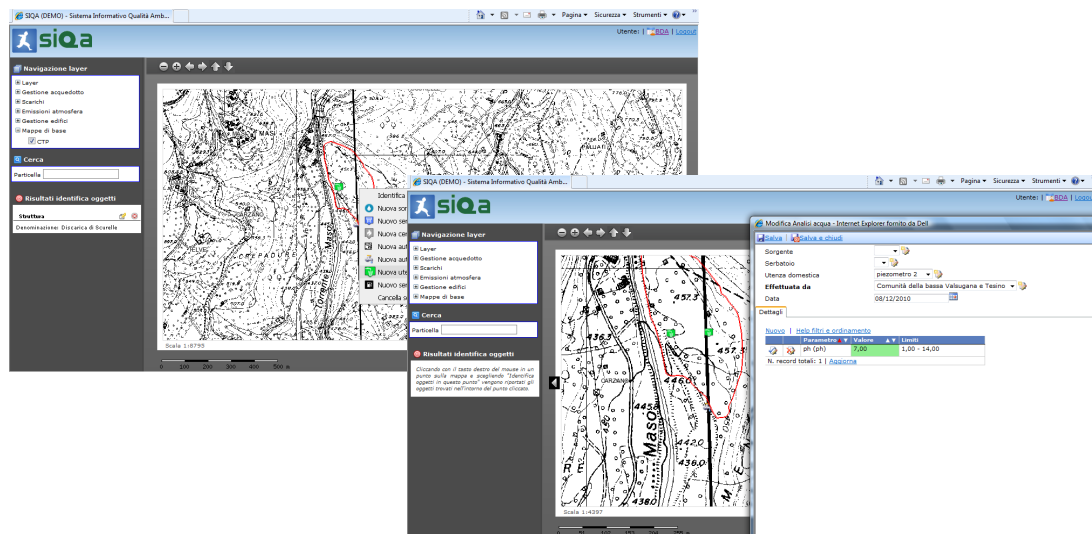


Figura 9 – Visualizzazione del punto di monitoraggio del piezometro e delle misure correlate dalla mappa GIS in rosso i limiti della discarica.



## **Analisi cartografica e GPS di punti fiduciali**

Gino Dardanelli, Vincenzo Franco, Salvatore Catalano

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Aerospaziale, Università di Palermo  
Viale delle Scienze, edificio 8, Tel. 09123896228, mail gino.dardanelli@unipa.it

### **Riassunto**

Scopo di questo lavoro è l'analisi cartografica di punti fiduciali (P.F.), attraverso la comparazione delle coordinate di un dataset di sessanta vertici presenti nella città di Palermo. Come supporto cartografico di riferimento è stato preso la carta ufficiale del Comune di Palermo, che è in formato digitale ed è stata recentemente realizzata con metodo aerofotogrammetrico (2007).

Le coordinate dei punti fiduciali sono state confrontate con differenti supporti cartografici e web: mappe catastali georiferite (nel sistema nazionale Gauss-Boaga), mappe derivanti dagli applicativi web Google Earth e fiduciali.it.

Oltre ai confronti con i supporti cartografici dei P.F., è stata effettuata una vasta campagna di rilievi GPS/GNNS in modalita NRTK con stazionamenti fuoricentro, legati alla particolare natura dei punti rilevati (in maggioranza spigoli di fabbricati); questo metodo, ampiamente utilizzato in letteratura, ha richiesto un lavoro molto oneroso poiché è stato necessario rilevare direttamente i P.F.

L'analisi sviluppata dimostra l'adeguatezza del rilievo NRTK alla determinazione delle coordinate dei P.F., mentre i risultati provenienti dagli applicativi Google Earth e fiduciali.it sono in forte discontinuità rispetto alla Cartografia Tecnica Comunale.

### **Abstract**

The aim of this work is the analysis of cartographic cadastral points (P.F.), with the coordinates of a data set of sixty vertices in the city of Palermo. Cartographic support reference was made the official map of the City of Palermo, which is in digital format and has recently been made with aerial photogrammetric survey method (2007).

The coordinates of vertex were compared with different web mapping: geo-referenced cadastral maps (in italian national datum, Gauss-Boaga) and maps derived from Google Earth and web applications, as Fiduciali.it.

In addition to comparisons with the map of P.F., was carried out an extensive campaign GPS surveys / GNNS-mode NRTK, linked to the particular nature of measuring points.

The analysis developed shows the adequacy of the survey NRTK to determination of the coordinates of P.F. with planimetric and altimetric accuracy, while data from Google Earth and Fiduciali.it shows a strong inconsistency with the technical map.

### **Introduzione e stato dell'arte**

Il rilievo topografico per aggiornamento catastale è profondamente cambiato, negli ultimi anni, con l'avvento delle applicazioni informatiche per il Web e la diffusione della tecnologia satellitare GPS/GNSS.

Oggi è infatti possibile pianificare direttamente dal proprio studio le operazioni di sopralluogo di campagna, attraverso la consultazione delle banche dati dell'Agenzia del Territorio, che permettono di ottenere documenti importati come le monografie dei P.F. e le tabelle delle mutue coordinate (TAF) di ogni singolo foglio, in qualsiasi comune della Repubblica. Con questa documentazione è

quindi possibile per il tecnico ottimizzare le risorse per l'esecuzione del rilievo con il GPS e garantire un ottimo risultato dal punto di vista dell'analisi dei costi-benefici.

La diffusione delle Reti di Stazioni Permanenti GPS pubbliche e private ha permesso, inoltre, in tutto il territorio nazionale l'esecuzione dei rilievi in maniera più facile ed economica, se si pensa alla possibilità di potere operare con un solo ricevitore ed un solo operatore, con precisioni centimetriche, che erano impensabili fino a pochi anni fa per questa tipologia di rilievo.

Queste nuove modalità di esecuzione del rilievo per l'aggiornamento, che appaiono ai più scontate, sono frutto di una serie di implementazioni tecnologiche e di notevoli investimenti operati all'interno dell'Agenzia del Territorio, ma anche del notevole impegno accademico profuso dalle Università e dalle associazioni di ricerca nell'ambito del posizionamento satellitare moderno.

Numerosi studi e Progetti di Rilevante Interesse Nazionale (PRIN) sono stati condotti nell'ultimo decennio da parte di ricercatori appartenenti a diversi atenei nazionali; tra questi significativo è quello condotto dall'equipe di ricerca dell'*Università di Bologna*, relativamente alle nuove metodologie di rilievo dei P.F. con tecniche GPS in RTK (Barbarella et al., 2002, Gandolfi, 2003). L'impiego delle stazioni permanenti GPS nell'ambito del rilievo dei P.F. è stato anche utilizzato nei lavori condotti dall'*Università di Roma La Sapienza* (Crespi, 2004, Crespi e Reina, 2004) e in quelli del *Politecnico di Torino* che hanno messo a punto delle modalità di rilievo in ambito catastale con ricevitori palmari (Cina et. al., 2008).

Imponente è il lavoro messo a punto dall'unità di ricerca di *Udine*, relativamente alla formulazione di un metodo analitico innovativo, basato sulla compensazione della rete di punti fiduciali, per effettuare l'inserimento dei rilievi di aggiornamento dai liberi professionisti all'interno della cartografia digitale (Beinat e Crosilla 2002).

Facendo riferimento ai differenti formati cartografici utilizzati, si può ricordare il confronto tra cartografia tecnica comunale e catastale, svolto nel lavoro condotto presso il *Politecnico di Milano*, con prove di georeferenziazione diretta (Bezoari e Selvini, 2005), mentre la valutazione di un forte errore sistematico nella accuratezza posizionale delle immagini Google Earth rispetto alla cartografia comunale viene riportata nella zona del Comune di Pavia, determinando le coordinate di circa 60 punti di controllo (Casella et al., 2010).

Relativamente ai servizi di *WebMapping* per ambiti catastali, è stato messo a punto recentemente un portale, [www.fiduciali.it](http://www.fiduciali.it), che mette a disposizione un servizio (al momento gratuito) che consente di eseguire l'upload delle mappe vettoriali in formato CXF scaricabili dal sito dell'Agenzia del Territorio e di visualizzare le stesse mappe, convertite nel sistema di coordinate utilizzato da *GoogleMaps* e sovrapporre allo stradario e all'ortofoto (Deligios, 2010).

Infine, per le applicazioni GIS basate sulla analisi dei dati provenienti da rete di stazioni permanenti GNSS, è stato condotto dal gruppo di ricerca dell'*Università di Palermo* uno studio relativo alla realizzazione del primo *WEBGIS* che permette la fornitura di informazioni utili per le fasi preparatorie al rilievo (copertura rete telefonica, collegamento internet, monografie dei punti) o successive ad esso (download dati necessari al post processing, monografie stazioni permanenti e coordinate aggiornate), in modo da supportare ricercatori e tecnici durante le operazioni preliminari al rilievo ed al post-processing dei dati rilevati (Dardanelli et al., 2010).

### **Obbiettivi della sperimentazione e metodologia di rilievo**

La sperimentazione condotta in questo lavoro ha come scopo quello investigare la precisione delle coordinate di un set di sessanta punti fiduciali, attraverso il confronto con vari supporti (cartografici e di web mapping), oltre ad un rilievo NRTK con strumentazione GPS/GNSS.

La mappa di riferimento per le analisi è stata assunta quella ufficiale del territorio di Palermo, che come detto è stata pubblicata recentemente ed è stata realizzata con metodo aerofotogrammetrico nel 2007.

Preliminarmente sono stati acquisiti dal sito dell'Agenzia del Territorio 80 monografie dei PF, considerando vertici appartenenti all'ambito urbano, non sempre rilevabili con la strumentazione GPS, mentre attraverso il portale *fiduciali.it* è stato possibile ricavare le coordinate (nei sistemi GB,

WGS 84 e Cassini Soldner) dei punti; infine attraverso *Google Earth*, si è verificata la posizione attraverso la conoscenza degli indirizzi e numeri civici. Nella figura 1 è rappresentata una mappa con indicati in rosso i P.F.



Figura 1 – Vista d'insieme dei P.F. utilizzati.

All'atto del sopralluogo soltanto 60 punti sono stati presi a riferimento per le successive analisi, dato che hanno presentato caratteristiche di rilevanza con il ricevitore e considerato che alcuni di essi si trovavano all'interno di veri e propri canyon urbani, con pessima ricezione satellitare e alti valori dei parametri statistici PDOP e GDOP, come mostrato in figura 2.



Figura 2 – Vista di Punti Fiduciali particolari.

Le coordinate Gauss Boaga sono state ricavate con un software cad della cartografia tecnica comunale e sono state scelte come termine di paragone per la verifica della qualità della georeferenziazione delle immagini *Google Earth*, del sito *fiduciali.it* e della mappa catastale, come è mostrato in figura 3. Per quanto riguarda le immagini provenienti da Google, è stato elevato il più possibile il rapporto di zoom e sono stati create delle *feature* puntuali in corrispondenza dei PF, salvati in un file KML (Casella et al., 2010).

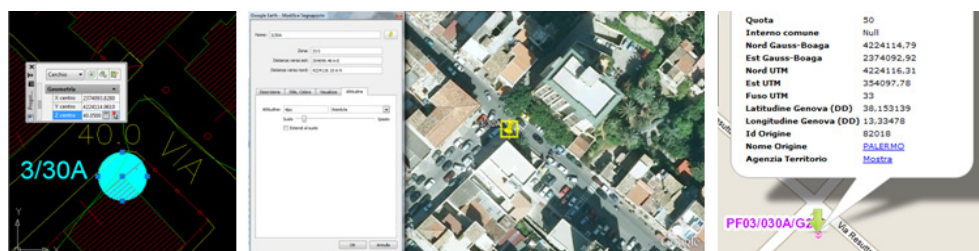


Figura 3 – Determinazione delle coordinate nei vari ambiti.

Una volta che sono state determinate le coordinate dei PF nel sistema nazionale e nel sistema WGS 84, sono state realizzate le nuove monografie (figura 4), che contengono anche la posizione dei punti rispetto alla carta tecnica comunale e Google Earth (oltre all'estratto di mappa)

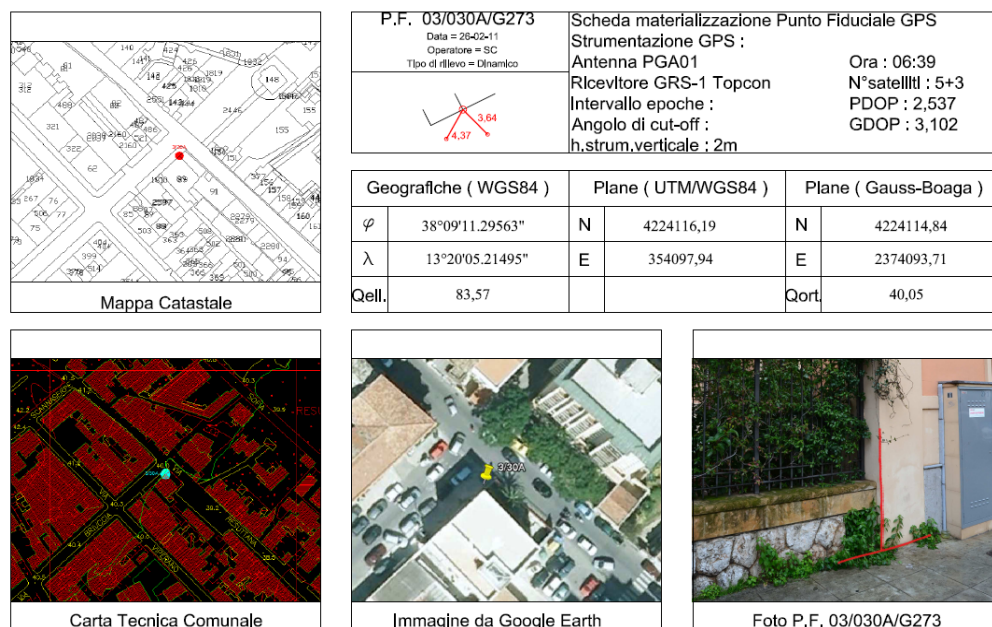


Figura 4 – Nuove monografie dei P.F. Con coordinate WGS84 e Gauss Boaga.

Le operazioni di rilievo dei PF, invece, sono state condotte con ricevitore GNSS Topcon *GRS-1* con telefono cellulare, modem GSM e Bluetooth (per il collegamento al controller del ricevitore) integrato all'interno del controller, asta geodetica in carbonio con bipiede Topcon ed antenna GNSS Topcon *PGA-2* con radio UHF integrata. La registrazione delle osservazioni è stata ottenuta ad ambiguità di fase fissata (*fixed*), con tempo di campionamento di 1 secondo. Essendo i PF in maggioranza spigoli di fabbricati, si è fatto ricorso a schemi di rilievo con particolare riferimento a quelli fuori-centro, che sono tradizionalmente usati in letteratura (Gandolfi, 2003). Considerata, inoltre, la particolare natura dei punti si è preferito lavorare con la doppia costellazione GPS e Glonass, che garantisce precisioni adeguate anche in ambiti urbani (Dardanelli, 2011). Le coordinate WGS84 sono state convertite con Verto3K e grigliati relativi alle zone di interesse.

### Analisi dei risultati

Come detto dalla differenza tra le coordinate ricavate dai vari supporti cartografici e web rispetto alle coordinate ricavate dalla cartografia comunale si sono determinati i valori statistici riportati nella tabella 1; innanzi tutto si osserva che i migliori risultati dal punto di vista numerico si ottengono per la componente Nord rispetto a quella Est, con s.q.m. delle differenze tra le coordinate pari a  $\pm 2,93$  m,  $\pm 2,28$  m,  $\pm 3,93$  m e  $\pm 0,74$  rispettivamente per Google Earth, mappa catastale, fiduciali.it e rilievo GPS. Risultati analoghi si ottengono per la componente Est (pari a  $\pm 3,24$  m,  $\pm 3,79$  m,  $\pm 4,06$  m e  $\pm 0,84$ ), mentre per la componente altimetrica si ottengono valori pari a  $\pm 3,54$  m,  $\pm 5,97$  m e  $0,34$ , rispettivamente per Google Earth, fiduciali.it e rilievo GPS (le mappe catastali georiferite infatti con hanno valori altimetrici).

In ogni caso dall'esame delle tabelle si nota un sistematismo rispetto alla componente altimetrica di Google Earth, dato che il valore medio è pari a  $9,23$  m circa, mentre emerge chiaramente come il rilievo con la strumentazione GPS permette di potere mantenere valori al disotto dei limiti legati all'errore di graficismo per la mappa di riferimento.

|        | $\Delta N$ |         |         |       | $\Delta E$ |         |         |       | $\Delta Q$ |         |       |
|--------|------------|---------|---------|-------|------------|---------|---------|-------|------------|---------|-------|
|        | Google     | Catast. | Fidu.it | GPS   | Google     | Catast. | Fidu.it | GPS   | Google     | Fidu.it | GPS   |
| Max    | 6,55       | 6,27    | 9,61    | 2,40  | 10,08      | 11,61   | 6,75    | 1,37  | 18,29      | 13,42   | 1,25  |
| Min    | -6,64      | -7,77   | -8,40   | -1,65 | -10,21     | -13,80  | -9,76   | -2,94 | 1,52       | -12,44  | -0,63 |
| Media  | -0,56      | -0,56   | -1,40   | -0,05 | 0,53       | -0,88   | -0,67   | -0,22 | 9,23       | 0,41    | 0,05  |
| Dev.st | 2,93       | 2,28    | 3,93    | 0,74  | 3,24       | 3,79    | 4,06    | 0,84  | 3,54       | 5,97    | 0,34  |

Tabella 1 – Parametrici statistici dei vari ambiti di studio.

Confrontando gli sqm calcolati dal ricevitore GNSS si osserva che i valori calcolati sono maggiori rispetto a quelli rappresentati dallo strumento, sia per la componente planimetrica che altimetrica; in ogni caso i valori della componente verticale risultano in valore assoluto più bassi rispetto a quelli orizzontali (Figura 5)

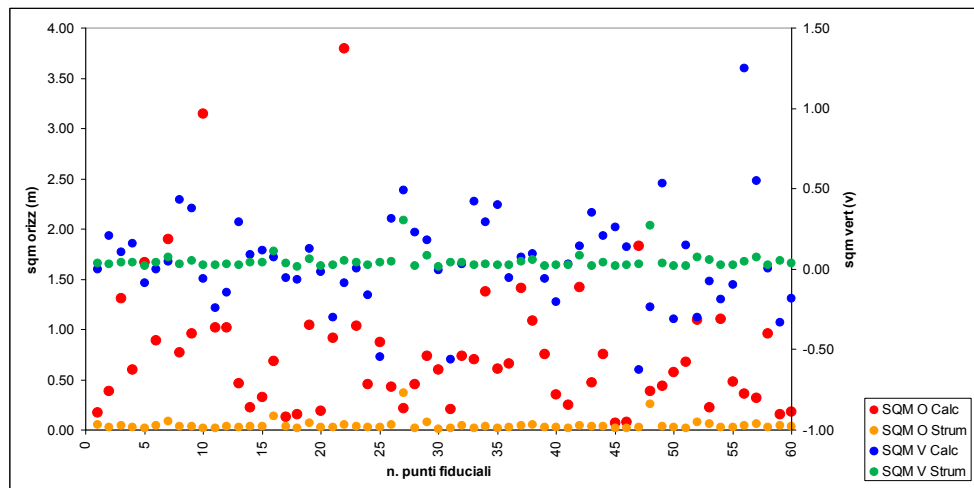


Figura 5 – Andamento degli smq orizzontali e verticali.

Analizzando poi l'andamento dei parametri statistici legati alla geometria satellitare (PDOP e GDOP) si osserva che sono sempre contenuti all'interno dei valori limite, con pochi outlier, malgrado i rilievi si siano effettuati all'interno del centro urbano (notevoli ostruzioni e ridotta visibilità), come è desumibile dalla Figura 6.



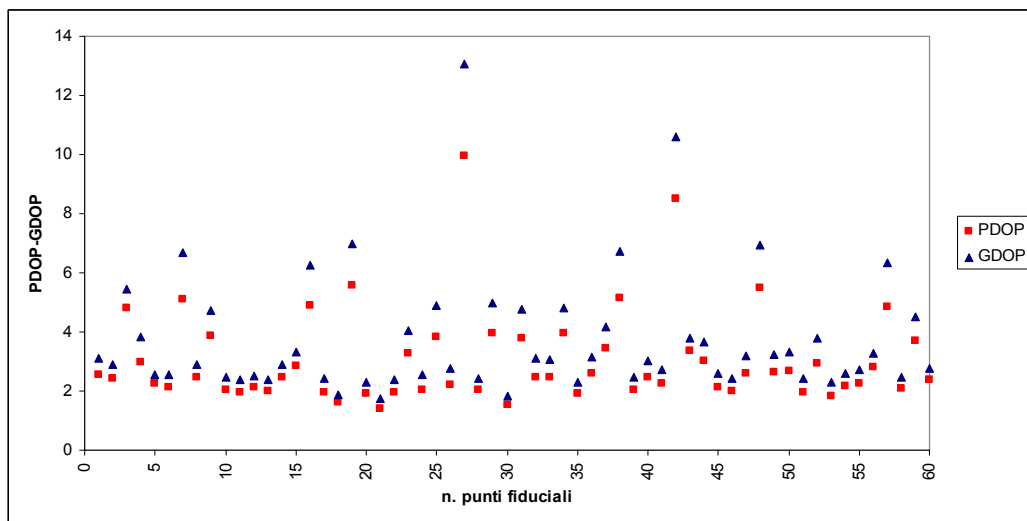


Figura 6 – Andamento PDOP e GDOP.

Dall'esame dei dati contenuti nei diagrammi a doppia scala per le componenti Nord ed Est (GPS e Catastale, asse a sx e Google e fiduciali asse a dx) di figura 7 e 8 si è osservato che i residui provenienti dal rilievo GPS hanno maggiore dispersione dei risultati all'interno dell'intervallo compreso tra  $\pm 1,00$  m, sia per la componente Est che per quella Nord, mentre i valori derivanti dai residui catastali sono dispersi più casualmente intorno a valori di  $\pm 2,00$ - $3,00$  m.

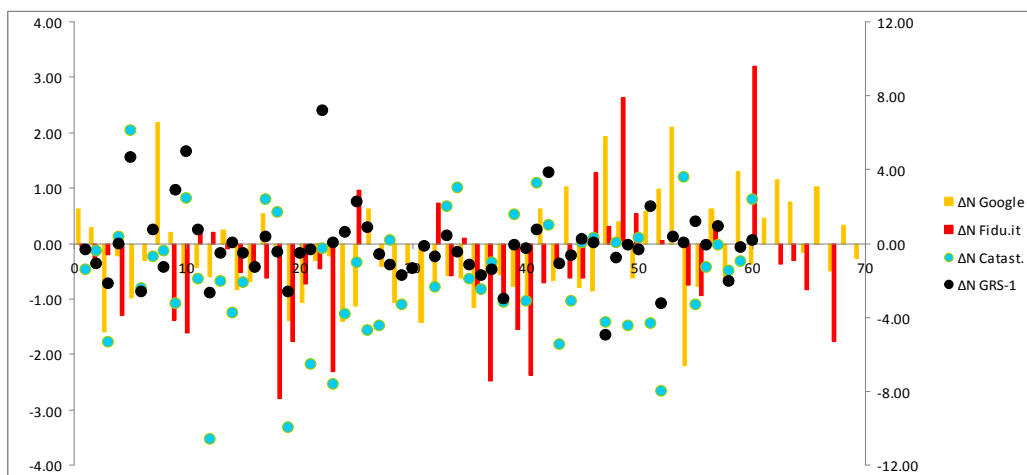


Figura 7 – Residui componente Nord.

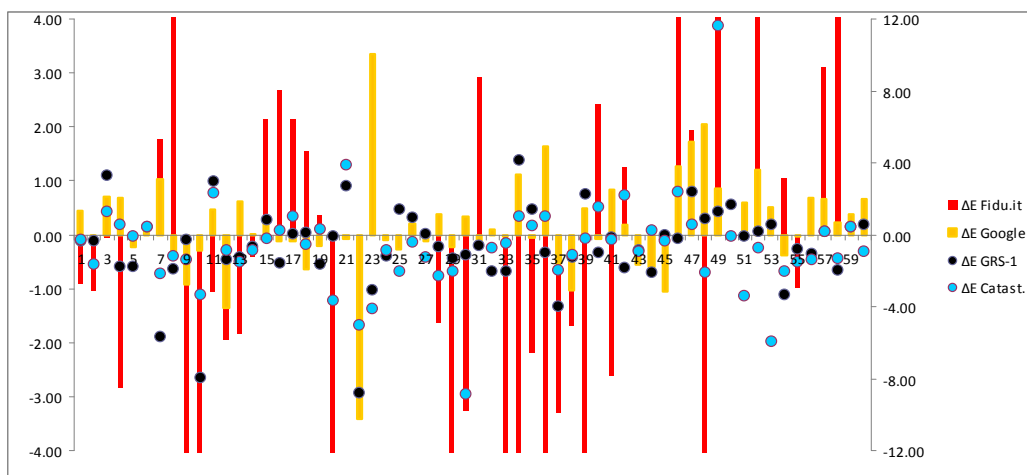


Figura 8 – Residui componente Est.

Esaminando invece i dati contenuti nel diagramma di figura 9, si è osservato, ancora una volta che i residui provenienti dal rilievo GPS hanno maggiore dispersione dei risultati all'interno dell'intervallo compreso tra  $\pm 1,00$  m, mentre i valori del sito *fiduciali.it* mostrano parecchi outlier e quelli provenienti da *Google* hanno residui sempre maggiori del limiti di 5-6 metri, assolutamente incompatibili con qualsiasi uso metrico e cartografico delle mappe.

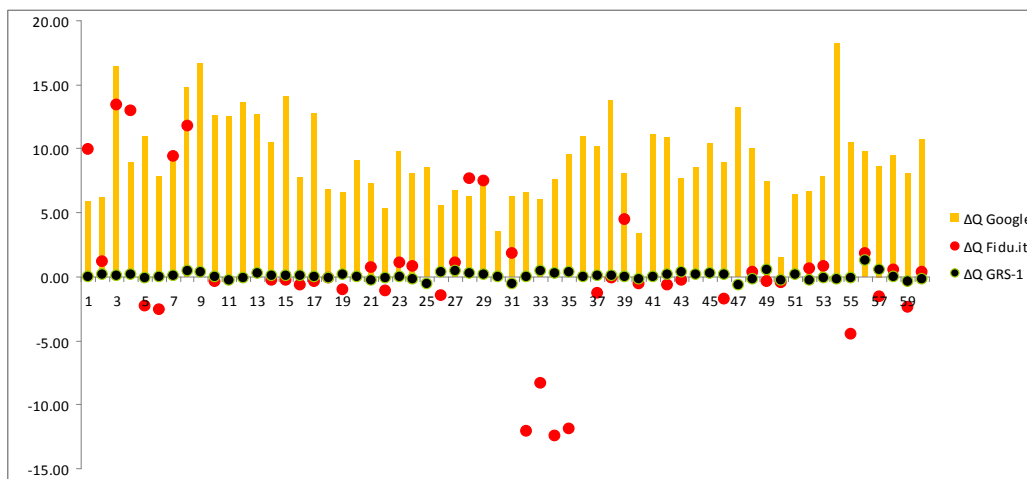


Figura 9 – Residui componente Q.

Dalle distribuzioni delle frequenze calcolate per intervalli costanti di tutte le componenti geodetiche (N, E, Q) si osserva infine che la migliore precisione è data sempre dal rilievo GPS (60% circa nelle tre componenti), mentre valori di precisione minore si ottengono per la mappa catastale (58%); i risultati derivanti dai siti web *fiduciali.it* e *Google Earth* invece mostrano valori bassi di precisione (40% e 39% rispettivamente).

Infine gli scarti sulla quota ortometrica sono molto ben uniformemente distribuiti soltanto per il rilievo condotto con il ricevitore GPS, mentre mostrano valori assolutamente non congruenti per il sito *fiduciali.it* e *Google Earth* (Figura 10).



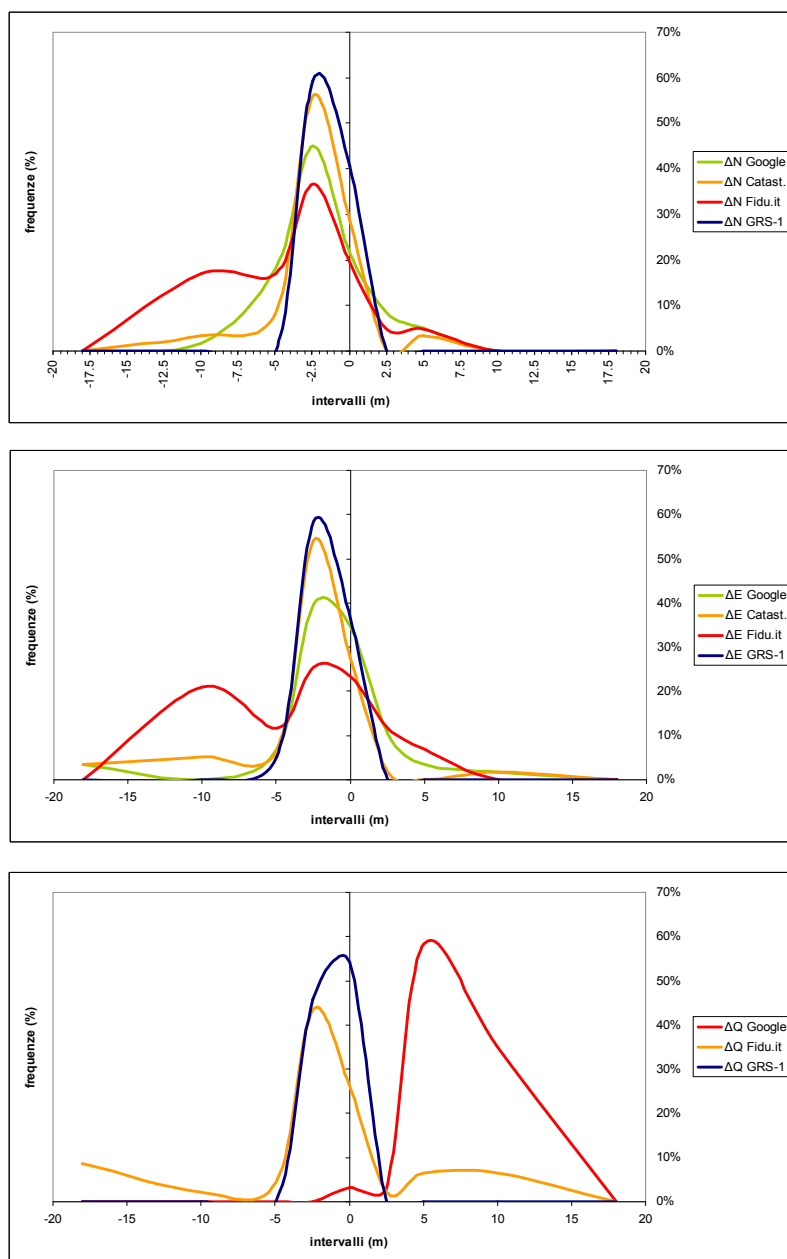


Figura 10 – Frequenze delle tre componenti geodetiche.

## Conclusioni

L'analisi sviluppata in questo lavoro, attraverso il rilievo GNSS in NRTK di 60 P.F. nel territorio di Palermo e il confronto della CTC ufficiale, porta alle seguenti considerazioni conclusive.

Le determinazioni delle coordinate dei P.F. vanno prese con riferimento ad un rilievo GPS condotto in campagna con le modalità tipiche della letteratura (residui sub metrici), e appaiono compatibili

con le grandezze in gioco. Invece i dati provenienti dal sito *fiduciali.it*, *Google Earth* e dalle mappe catastali georiferite, pur fornendo informazioni utili alla individuazione degli stessi punti rispetto ai riferimenti spaziali (strade, ambiti di zona, localizzazione GIS), si dimostrano non congruenti con usi metrici e cartografici, comparati con il sistema nazionale Gauss Boaga.

Infine, i risultati derivati dal rilievo GNSS mostrano un'ottima affidabilità della rete di stazioni permanenti dell'Università di Palermo; questa infrastruttura, messa a punto dal DICA per scopi prettamente scientifici e accademici, si presta bene anche alle applicazioni tecniche come quelle catastali e la sua presenza sul territorio siciliano potrà essere presa in considerazione nell'eventualità di una rete a carattere regionale o gestita dall'Agenzia del Territorio.

### **Bibliografia**

Barbarella M., Dubbini M., Gandolfi S., Gordini C., Lenzi V., Mancini F., Zanni M., 2002, Rilievo di punti fiduciali catastali con tecnica RTK, in *Atti 6ª Conferenza Nazionale ASITA*, Perugia, 5-8 novembre 2002, pp. 311-317

Beinat A., Crosilla F. (2002) Una procedura per la ricomposizione conforme della cartografia catastale digitale, in *Bollettino SIFET* (Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia) n. 1-2003, pp. 17-33

Beinat A., Crosilla F. (2002) Una proposta innovativa per la ricomposizione cartografica del catasto, in *Atti 6ª Conferenza Nazionale ASITA*, Perugia, 5-8 novembre 2002

Bezoari G., Selvini A. (2005). Carte catastali e cartografia tecnica comunale: un test a confronto, in *Atti 9ª Conferenza Nazionale ASITA*, Catania, 15-18 novembre 2005

Casella V., Franzini M., Padova B., Spalla A., Bruneo M.G. (2010). L'accuratezza della georeferenziazione delle immagini Google Earth: un caso-studio sul Comune di Pavia, in *Atti 14ª Conferenza Nazionale ASITA*, Brescia, 9-12 novembre 2010

Cina A., Manzino A., Manzino G. (2008). I ricevitori palmari in applicazioni catastali, in *Atti 12ª Conferenza Nazionale ASITA*, L'Aquila, 21-24 ottobre 2008

Crespi M. (2004). Inquadramento di mappe catastali nel sistema cartografico UTM-WGS84-ETRF89 mediante rilievi GPS RTK rispetto a stazioni permanenti, in *Atti 8ª Conferenza Nazionale ASITA*, Roma, 14-17 dicembre 2004

Crespi M., Reina G. (2004) Applicazioni non catastali dei punti fiduciali: proposta di una metodologia per l'inquadramento della maglia dei punti fiduciali nel sistema cartografico UTM-WGS84-ETRF89, in *Bollettino SIFET* (Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia) n. 3-2004, pp. 13-22

Dardanelli G. (2011). Test di posizionamento con ricevitori ibridi GPS-Glonass, in *Atti convegno nazionale SIFET 2011*, 22-24 giugno Ancona

Dardanelli G., Ferrara A., Scianna A. (2010). Un WEBGIS Open Source a supporto dei rilievi GPS in Sicilia, in: *Bollettino SIFET* (Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia) n. 4-2010, pp. 73-85

Dardanelli G., Franco V., Lo Brutto M. (2008). La rete GNSS per il posizionamento in tempo reale dell'Università di Palermo: progetto, realizzazione e primi risultati, in: *Bollettino SIFET* (Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia) n. 3-2008, pp. 107-124

Deligios M. (2010). Visualizzare le mappe catastali su GoogleMaps, in *Atti 14ª Conferenza Nazionale ASITA*, Brescia, 9-12 novembre 2010

Gandolfi S. (2003). Metodologie integrate GPS-RTK e/o classiche: rilievi di punti fiduciali catastali, in *Bollettino SIFET* (Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia) n. 3-2003, pp. 53-77



## **Approccio differenziato per la validazione dei dati GPS provenienti dalla rete UNIPA**

Gino Dardanelli, Pietro Orlando, Marco Sciortino

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Aerospaziale, Università di Palermo  
Viale delle Scienze, 90118 Palermo, Tel. 091 23896228, Fax 091 588853  
email: gino.dardanelli@unipa.it, pietroorlando@unipa.it; marco.sciortino@alice.it

### **Riassunto**

In questo lavoro ci si è proposti la verifica di qualità iniziale e la successiva elaborazione delle osservazioni provenienti dalle stazioni permanenti appartenenti alla rete dell'Università di Palermo, creata nell'ambito del progetto PRIN2005 dal titolo: "*Reti di stazioni permanenti GPS per il rilievo in tempo reale in impieghi di controllo e emergenza*" e gestita dal Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Aerospaziale. Tale rete attualmente è formata da nove stazioni permanenti localizzate presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Palermo e altri istituti o enti pubblici presenti nelle località di Termini Imerese (PA), Trapani, Agrigento, Caltanissetta, Partinico (PA), Campobello di Mazara (TP), Prizzi (PA), Alcamo (TP). Il lavoro svolto è relativo ad una arco temporale compreso tra Gennaio del 2008 ed Agosto del 2010. Per le elaborazioni dei dati grezzi sono stati impiegati tre differenti software scientifici *TEQC*, *QC2SKY* e *NDA Lite*, che hanno restituito piena corrispondenza dei risultati. In particolare, si può osservare come tutte le stazioni abbiano presentato elevati livelli di qualità sia in termini di potenza del segnale ricevuto (SNR), che in termini di multipath e cycle slips. A seguito dei risultati ricavati dalle operazioni di controllo di qualità iniziale dei dati si è passati all'elaborazione e alla stima delle coordinate delle stazioni permanenti attraverso l'utilizzo del software scientifico *NDA Professional*. Sono state valutate le influenze di differenti modelli troposferici e ionosferici. Si è osservato che, relativamente alle condizioni imposte e a i dati utilizzati, i risultati sono indipendenti dal modello troposferico utilizzato (a parità di modello ionosferico). Lo stesso non può dirsi per ciò che riguarda la dipendenza dei risultati dalla scelta del modello di correzione dell'errore ionosferico; la scelta iniziale ha riguardato il modello di *Euler e Goad*. Le analisi successive sono state condotte attraverso l'uso dei coefficienti *Klobuchar-style* calcolati dal *Centre for Orbit Determination in Europe* (CODE) dell'Università di Berna. Si è visto come a seguito di tale scelta, la precisione delle coordinate calcolate, valutata attraverso l'analisi degli scarti quadratici medi, sia aumentata in maniera assolutamente evidente. Infine, è stata effettuata l'indagine statistica sulle serie storiche risultanti dal processamento utilizzando i mezzi propri dell'analisi spettrale, come la *Fast Fourier Transform*.

### **Abstract**

In this work there has been proposed the initial quality check and further processing of the observations from the permanent stations in the network of the University of Palermo, which was created under the project entitled PRIN2005 *Reti di stazioni permanenti GPS per il rilievo in tempo reale in impieghi di controllo e emergenza*", operated by the Department of Civil Engineering, Environmental and Aerospace. The network currently consists of nine permanent stations located at the Faculty of Engineering, University of Palermo and other public institutions or organizations present in Termini Imerese (PA), Trapani, Agrigento, Caltanissetta, Partinico (PA), Campobello di Mazara (TP), Prizzi (PA), Alcamo (TP). It should first be noted that although the work is between January 2008 and August 2010. For the processing of raw data were used three different scientific

software: *TEQC*, *QC2SKY* and *NDA Lite*, which returned full correspondence of the results. In particular, one can see how all the stations have presented the high level of quality both in terms of received signal strength (SNR), and in terms of number of multipath and cycle slips. Following the results obtained from the initial quality control of data has passed to processing and estimation of the coordinates of the permanent stations through the use of scientific software *NDA Professional*. We evaluated the influences of different tropospheric and ionospheric models. It was noted that in relation to the conditions imposed and to data used, the results are independent of the tropospheric model used (for the same ionospheric model). The same is not true in what concerns the dependence of the results from the choice of the ionospheric error correction model; the initial choice covered the model of *Euler and Goad*. The subsequent analysis was carried out through the use of the *Klobuchar-style* coefficients calculated by the *Centre for Orbit Determination in Europe* (CODE), University of Bern. It is seen as a result of this choice, the accuracy of calculated coordinates, evaluated through the analysis of the standard deviations, increased in an absolutely clear. Finally, the survey will be made on statistical time series resulting from the processing using its own means of spectral analysis, such as the *Fast Fourier Transform*.

### **Introduzione**

I sistemi satellitari *Global Navigation Satellite System* (GNSS), GPS, Glonass, GALILEO e Beidou/COMPASS rappresentano la migliore risposta all'esigenza di determinare in modo accurato, affidabile e possibilmente rapido la posizione di un qualsiasi punto, o oggetto, sul territorio; questa necessità coinvolge un gran numero di applicazioni scientifiche ed ingegneristiche. Nell'ambito delle proprie ricerche scientifiche sui temi della navigazione satellitare, i ricercatori del DICA dell'Università di Palermo hanno realizzato e gestiscono dal 2007 una rete di stazioni permanenti costituita da nove stazioni GNSS localizzate rispettivamente ad Agrigento, Alcamo (TP), Caltanissetta, Campobello di Mazara (TP), Palermo, Partinico (PA), Prizzi (PA), Termini Imerese (PA) e Trapani, coordinata da un centro di controllo sito nella Facoltà di Ingegneria dell'Università di Palermo.

La rete fornisce, in via sperimentale, dati per servizi di posizionamento sia in tempo reale che in post-elaborazione (Dardanelli et al., 2008). Le stazioni di Campobello di Mazara, Palermo e Termini Imerese sono state inserite nella *Rete Dinamica Nazionale* (RDN) gestita dall'IGM, per la definizione del nuovo *datum* geodetico italiano. Partendo da queste considerazioni, in particolare, l'analisi di serie temporali di coordinate provenienti da stazioni GNSS risulta un utile strumento da applicarsi, con diverse finalità, sia a monte che a valle del processo di trattamento dei dati misurati.

### **Trattamento preliminare dei dati**

La sperimentazione è stata condotta sui dati acquisiti dalle stazioni permanenti nell'intervallo compreso tra le settimane GPS 1460-1598 e corrispondente, come detto, al periodo tra Gennaio 2008 e Agosto 2010.

La prima fase della sperimentazione ha riguardato il trattamento preliminare dei dati con tre software, due dei quali sono correntemente utilizzati in ambito internazionale nel pretrattamento dei dati provenienti da stazioni GNSS. I software utilizzati sono *TEQC* dell'UNAVCO, *QC2SKY* del Politecnico di Torino e *Network Deformation Analysis* (NDA), nella versione *Lite*, della Galileian Plus s.r.l. L'analisi con *TEQC* e *QC2SKY* è stata effettuata per ognuna delle stazioni della rete UNIPA e per ogni giorno del periodo preso in esame, per uniformarsi alle condizioni di qualità dei dati, quali i valori di ritardo ionosferico, di multipath e di rapporto segnale rumore sulle due frequenze GPS, delle stazioni internazionali che sono state impiegate nei calcoli successivi (Cagliari, Matera, Noto). Un'altra tipologia di analisi per la verifica della qualità iniziale dei dati è stata effettuata utilizzando un altro software sviluppato sempre dalla Galileian Plus s.r.l., *Network Deformation Analysis* (NDA), nella versione *Lite*. A tale pacchetto è stato aggiunto un modulo Data Quality Evaluation (DQE), per il controllo di qualità dei dati GPS. Di seguito, si riportano i risultati sintetici del controllo di qualità effettuato sui dati con l'ausilio di *NDA Lite* (Tabella 1).

| Stazione | Cicle slips<br>(per sessione) | Rumore L <sub>1</sub><br>(m) | Rumore L <sub>2</sub><br>(m) | Rumore C <sub>1</sub><br>(m) | Rumore C <sub>2</sub><br>(m) |
|----------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| AGRI     | 15.75                         | 0.000309                     | 0.000242                     | 0.914                        | 0.454                        |
| ALCA     | 2.74                          | 0.000379                     | 0.000297                     | 1.110                        | 0.561                        |
| CALT     | 30.64                         | 0.000322                     | 0.000252                     | 0.912                        | 0.483                        |
| CAMP     | 15.99                         | 0.000356                     | 0.000278                     | 1.020                        | 0.514                        |
| PALE     | 34.28                         | 0.000311                     | 0.000245                     | 0.658                        | 0.490                        |
| PART     | 13.13                         | 0.000312                     | 0.000244                     | 1.190                        | 0.460                        |
| PRIZ     | 16.89                         | 0.000278                     | 0.000218                     | 0.938                        | 0.410                        |
| TERM     | 25.72                         | 0.000287                     | 0.000225                     | 1.190                        | 0.439                        |
| TRAP     | 9.32                          | 0.000265                     | 0.000208                     | 0.994                        | 0.394                        |

Tabella 1 – Risultati del trattamento preliminare dei dati con NDA Lite.

### Processamento dei dati

Terminato il trattamento preliminare dei dati, è stato utilizzato il software Network Deformation Analysis (NDA), nella versione *Professional*, per la stima delle coordinate delle stazioni permanenti della rete *UNIPA NRTK GNSS*. Il software (Chersich et al., 2002) è stato sviluppato dalla Galileian Plus s.r.l., in collaborazione con il Politecnico di Milano e con l'Agenzia Spaziale Italiana (ASI). Il processamento dei dati è stato impostato sia con soluzione su singola linea di base che con soluzione di rete, correzione della posizione del centro di fase dell'antenna, effemeridi precise, oltre a quelle relative al Sole e alla Luna ottenute dal *Jet Propulsion Laboratory* (JPLPH). Successivamente si è scelto quale modellazione utilizzare per il calcolo e la correzione dell'errore ionosferico e dell'errore troposferico. Per modellare l'errore ionosferico è stato scelto inizialmente il modello di *Euler e Goad* (Euler, Goad, 1991) e successivamente quello di *Klobuchar* (Klobuchar, 1996), utilizzando i parametri giornalieri forniti dal CODE dell'Osservatorio Astronomico dell'Università di Berna. Per ciò che riguarda la modellazione della troposfera si è scelto di utilizzare sia il modello di *Saastamoinen* sia quello di *Hopfield*, entrambi modificati con la mapping function di *Niell* (Niell, 1996). Infine, per ciò che riguarda il fissaggio delle ambiguità si è scelto di utilizzare il metodo LAMBDA associato ad un test secondario sul ratio, che ad oggi risulta una delle metodologie maggiormente utilizzate in letteratura. Inoltre, si è impostato un numero massimo di ambiguità da fissare durante il calcolo pari a 300.

### Analisi dei risultati (modello ionosferico di Euler e Goad)

Inizialmente, si è scelto di usare per la modellizzazione dell'errore ionosferico il modello di *Euler e Goad*, che in genere è utilizzato per la risoluzione delle ambiguità di fase oltreché per la valutazione dell'errore ionosferico e del multipath. Poiché, come è noto, i risultati derivanti da questa scelta sono migliorabili, le analisi successive sono state condotte attraverso l'uso del modello di *Klobuchar*, ed in particolare dei coefficienti calcolati in post-elaborazione su base regolare giornaliera dal CODE dell'Università di Berna.

### Analisi dei risultati (modello troposferico di Saastamoinen)

Per quanto riguarda i risultati derivanti dall'elaborazione dei dati, si farà ora riferimento ai valori ottenuti utilizzando il modello troposferico di *Saastamoinen*. Nelle figure che seguono sono riportati gli andamenti preliminari delle serie temporali delle stazioni, considerando i valori determinati dalle tre stazioni di riferimento della rete IGS (Cagliari, Noto, Matera) nelle tre componenti X, Y, Z. Le stazioni permanenti di Caltanissetta e Palermo presentano delle serie temporali aventi, con riferimento all'intervallo oggetto di studio, un andamento lineare. Dall'analisi dei risultati si nota la completa risoluzione dei problemi di interferenza elettromagnetica manifestatesi nella stazione di Palermo, che nelle prime settimane del 2008, hanno provocato un decadimento repentino della qualità delle osservazioni registrate (Dardanelli et al., 2008) (Figura 1).

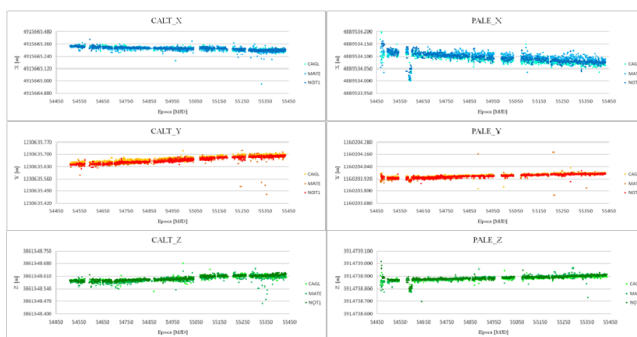


Figura 1 – Risultati per la stazione di CALT e PALE (Saastamoinen).

Le serie temporali relative alle stazioni di Prizzi e Trapani presentano anch'esse andamento rettilineo con totale assenza di salti. Tuttavia si rilevano discontinuità localizzate tra Luglio ed Agosto del 2008 causate da un malfunzionamento della stazione permanente di Prizzi successivamente risolto. La stazione di Trapani presenta invece due evidenti discontinuità nel mese di Agosto del 2008 e del 2010, dovute al distacco della linea di trasmissione ADSL al server centrale (Figura 2).



Figura 2 – Risultati per la stazione di PRIZ e TRAP (Saastamoinen).

Le serie temporali relative alle stazioni di Agrigento e Partinico presentano un evidente *trend* rettilineo dovuto allo spostamento della placca euroasiatica: circa un paio di centimetri all'anno per ciascuna coordinata, in linea con i modelli previsionali di tipo geodinamico (Figura 3).

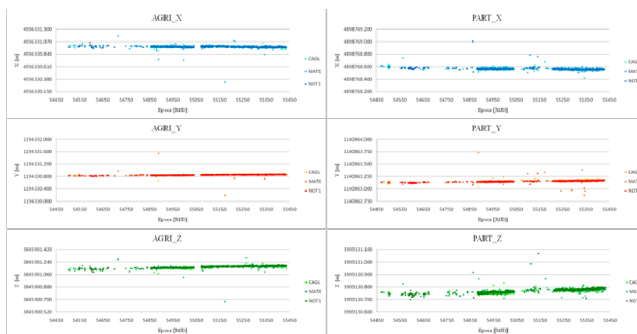


Figura 3 – Risultati per la stazione di AGRI e PART (Saastamoinen).



Si ritrova un andamento simile a quello delle stazioni di cui sono stati esposti i risultati anche per il sito di Termini Imerese, che appartiene alla *RDN*, malgrado in questo caso il numero di stime ottenute dal calcolo sia lievemente inferiore. Per la stazione di Campobello di Mazara, anch'essa facente parte della *RDN*, si sono ricavate invece delle serie temporali nelle quali non è stato possibile definire un andamento (Figura 4); ciò non ha permesso di effettuare la successiva analisi statistica dei risultati.



Figura 4 – Risultati per la stazione di CAMP e TERM (Saastamoinen).

Dall'analisi dei valori degli scarti quadratici medi relativi alla elaborazione di ogni singola baseline per tutte le stazioni permanenti, si osserva che i valori medi di detti scarti sono tutti millimetrici o submillimetrici, ad eccezione delle stazioni di Alcamo, che sotto le condizioni imposte non ha restituito un numero adeguato di risultati, e Campobello di Mazara. Ciò potrebbe essere riconducibile all'eccessivo numero di *clock jumps* del ricevitore; si rimanda ad ulteriori studi per approfondimenti in tal senso.

Applicando il modello di *Hopfield* per la correzione del ritardo troposferico, si ottengono risultati esattamente identici a quelli ricavati con l'uso del modello di *Saastamoinen*. Non sono individuabili particolari sistematismi nelle coordinate calcolate con un modello rispetto all'altro. Dal confronto dei valori delle deviazioni standard relative ai risultati ricavati con i due modelli, si nota come le loro differenze siano sempre pressoché costanti e dell'ordine di grandezza di  $\pm 10^{-3}$  m.

### Analisi statistica dei risultati

Per questioni legate alla brevità, si riporterà per esteso il processo di analisi ed i risultati relativi alla sola stazione di Palermo processata utilizzando il modello troposferico di *Saastamoinen* e i coefficienti *Klobuchar style* per la correzione dell'errore ionosferico.

Le serie temporali risultanti dai processamenti possono essere intese come realizzazioni di processi stocastici non stazionari; ciò a causa della presenza di un *trend lineare* che non permette di prescindere dalla particolare finestra temporale per il calcolo delle statistiche legate alle serie.

L'ipotesi su cui si fonda lo studio (Gandolfi et al., 2005), fa riferimento ad un modello di tipo additivo e schematizza le serie temporali nel modo seguente:

$$y(t) = T(t) + C(t) + S(t) + \varepsilon(t) \quad [1]$$

in cui nell'ordine compaiono la componente lineare  $T(t)$ , quella ciclica  $C(t)$ , quella stagionale  $S(t)$  e quella aleatoria di rumore  $\varepsilon(t)$ ; quest'ultima può pensarsi come somma di white noise (WN), flicker noise (FN) e random walk noise (RW) (Agnew, 1992).

Per poter affrontare lo studio delle periodicità di un segnale si deve prima realizzare tuttavia la detrendizzazione della serie e la rimozione dei valori fuori scala, detti *outliers*. Il trend lineare individuabile nella serie temporale fornisce due informazioni di un certo rilievo; esso infatti

esplicita l'andamento che la serie assume nel tempo indicando in quale direzione stia migrando il punto su cui è collocata la stazione permanente ed in secondo luogo, in base allo studio del coefficiente angolare, fornisce la velocità con cui tale punto si sta spostando. Lo studio del trend è stato effettuato attraverso una *regressione lineare ai minimi quadrati*. Una volta rimosso il trend si può ritenere che la serie temporale sia la realizzazione di un processo stocastico stazionario in senso lato e quindi con caratteristiche adeguate affinché si possa operare su di essa l'analisi di Fourier. Prima di effettuare l'analisi spettrale delle serie, sono stati eliminati gli *outliers* assumendo la distribuzione delle osservazioni di tipo gaussiano tutti i valori non rientranti nella fascia compresa tra  $[+3\sigma; -3\sigma]$  sono stati considerati fuori scala.

Una volta resa stazionaria la serie è stato possibile applicare ad essa gli strumenti dell'analisi di Fourier (Cenni et al., 2000) ed in particolare la *Fast Fourier Transform*. Si è utilizzato il software denominato *Frequency Analysis Mapping On Unusual Sampling (FAMOUS)*, che può essere usato per trovare funzioni periodiche nascoste in un segnale, stimarne i parametri caratteristici e, se necessario, per rimuovere tali componenti periodiche dalla serie temporale (Mignard, 2005).

Sottraendo dal segnale originale la somma delle ampiezze delle armoniche trovate, è possibile capire di quanto è stato ridotto il segnale (Figura 5).

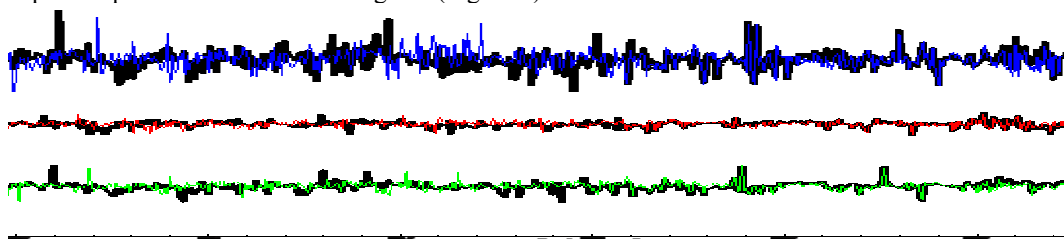


Figura 5 – Riduzione del segnale originale (nero) in seguito alla rimozione di tutte le armoniche statisticamente accettabili (colore) per le componenti X, Y e Z (rispettivamente in blu, rosso e verde).

Si è infine valutata l'entità delle tre aliquote di rumore, di cui si è detto in precedenza. Il *white noise* è la componente di rumore non correlata col tempo introdotta nella misurazione del fenomeno dipendente dall'inevitabile imprecisione dello strumento e dall'operato di chi effettua la misurazione. Si è assunta una distribuzione gaussiana dei risultati con ampiezze massime pari a  $2 \div 3$  mm. Il *random walk noise* è dovuto ad una serie di forze casuali causate dagli sbalzi di temperatura, che producono spostamenti delle fondazioni del pilastro su cui poggia il ricevitore GPS. Concordemente con quanto riportato in letteratura tutte le stazioni hanno presentato valori di rumore correlato col tempo compresi tra 0,5 e 4 mm. Infine, il *flicker noise* assume un comportamento *ibrido* in quanto può essere sia correlato col tempo che indipendente da esso. La sua origine non è ancora chiara; si pensa sia dovuto a fattori come la cattiva modellazione dell'errore dell'orbita terrestre ed il particolare sistema di riferimento adottato. Come in letteratura, le analisi hanno prodotto valori di FN pari a circa una volta e mezzo il WN, che nel caso in esame raggiungono anche i  $6 \div 8$  mm (Mao et al., 1999). Di seguito, si mostrano i valori delle tre componenti di rumore ricavati per tutte le stazioni appartenenti alla rete UNIPA (Tabella 2).

|    | Valori del rumore [mm] |      |              |      |              |              |             |            |             |
|----|------------------------|------|--------------|------|--------------|--------------|-------------|------------|-------------|
|    | AGRI                   | ALCA | CALT         | CAMP | PALE         | PART         | PRIZ        | TERM       | TRAP        |
| WN | $2 \div 4$             | -    | $2 \div 5$   | -    | $3 \div 5$   | $3 \div 4$   | $2 \div 4$  | $2 \div 3$ | $2 \div 3$  |
| RW | $1.5 \div 4$           | -    | $1.5 \div 3$ | -    | $1 \div 2.5$ | $0.5 \div 4$ | $2 \div 4$  | $1 \div 3$ | $1 \div 5$  |
| FN | $4 \div 9$             | -    | $4 \div 8$   | -    | $2 \div 8$   | $3 \div 5$   | $2 \div 10$ | $2 \div 8$ | $4 \div 10$ |

Tabella 2 – Riepilogo dei valori di WN, RW e FN sulla rete UNIPA.

## Conclusioni

Si è visto che i risultati ricavati dal pretrattamento dei dati attraverso l'uso di tre differenti software scientifici *TEQC*, *QC2SKY* e *NDA Lite* abbia restituito piena corrispondenza dei risultati.

La prima conclusione è che, relativamente alle condizioni imposte e a i dati utilizzati, i risultati sono indipendenti dal modello troposferico utilizzato.

Si è dimostrato che, a parità di modello ionosferico, la scelta del modello troposferico di *Saastamoinen* e la scelta del modello di *Hopfield*, risulta essere ininfluente sia sui valori delle stime delle coordinate delle stazioni permanenti che sui valori delle precisioni delle stesse.

Lo stesso non può dirsi per ciò che riguarda la dipendenza dei risultati dalla scelta del modello di correzione dell'errore ionosferico. Le analisi successive sono state dunque condotte attraverso l'uso del modello di *Klobuchar*, con i coefficienti del *CODE*. Si è visto come a seguito di tale scelta la precisione delle coordinate calcolate, valutata attraverso l'analisi degli scarti quadratici medi, sia aumentata in maniera assolutamente evidente. Questa forte dipendenza delle stime dalla scelta del modello ionosferico può trovare una spiegazione nel fatto che, per la sua formulazione, il modello di *Euler* e *Goad* utilizza i dati acquisiti dalle stazioni permanenti attraverso algoritmi con coefficienti broadcast. I coefficienti *Klobuchar-style* calcolati dal *CODE* sono invece giornalieri e vengono calcolati in post-elaborazione.

Da un'attenta comparazione dei risultati ottenuti dall'analisi dei dati provenienti dalle stazioni permanenti in studio può affermarsi a livello generale, che la rete presenta una buona qualità dei dati raggiungendo in alcuni casi precisioni tanto elevate da essere paragonabili a quelle ottenute da reti certamente a scala più grande e non sperimentali.

Da ricerche bibliografiche condotte sulla letteratura degli ultimi anni, si è poi dedotto che una serie GPS presenta molteplici possibili perturbazioni principalmente dovute a errori nella modellizzazione di alcuni dati necessari al processamento. Inoltre, è emerso come tali serie temporali ricavate da rilievi geodetici, siano afflitte da differenti tipologie di rumore che possono alterare, se non opportunamente considerate, i parametri di interesse per le interpretazioni geofisiche del dato.

A tal fine, sottoponendo la serie reale ad una regressione lineare ai minimi quadrati si è potuto isolare un *trend*, il quale ha definito la direzione dello spostamento e la velocità con cui il sito si sta muovendo nell'ipotesi in cui gli effetti di rumore non alterino la stima della reale velocità media del punto. In seguito alla rimozione del trend, si è intervenuti sulla serie detrendizzata applicando un'analisi spettrale, che ha permesso l'individuazione di un certo numero di armoniche di notevole peso statistico, la cui composizione ha determinato un certo segnale periodico. L'analisi ha individuato, sulle tre componenti spaziali, armoniche con ampiezze prevalentemente di uno o due millimetri circa con qualche eccezione ad ampiezze superiori, soprattutto per la componente verticale. Per quanto riguarda i periodi, si evidenziano in maggioranza cicli stagionali, o semestrali associati alle armoniche con ampiezze minori. Le armoniche individuate e ritenute significative, sono state poi sottratte dalla serie e si è poi proceduto all'analisi della nuova serie depurata dagli effetti periodici per una nuova stima delle velocità. La nuova serie presentava una dispersione inferiore a quella iniziale e dunque la qualità del dato finale risulta essere significativamente migliore.

È doveroso ammettere che l'analisi non è completa poiché lo studio non si può dire concluso, ma le indicazioni che provengono dalle prove sperimentali eseguite possono confermare che l'impatto di questi rumori nella stima sia dei parametri di velocità che dei segnali periodici individuati all'interno di una serie temporale, non cambiano in maniera significativa la conoscenza della dinamica della serie.

La rete di stazioni permanenti dell'Università di Palermo anche se nata per scopi prettamente sperimentali presenta una qualità dei dati elevata assolutamente paragonabile a quella di altre reti operative sul territorio nazionale ed internazionale per scopi commerciali e/o scientifici.

## Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare il prof. Stefano Gandolfi della *Alma Mater Studiorum Università di Bologna* per i suoi preziosi consigli e Marco Osmo della *Galileian Plus s.r.l.* di Roma per la collaborazione durante l'elaborazione dei dati, in particolare per i settings dei software NDA Lite e Professional.

## Bibliografia

- Dardanelli G., Franco V., Lo Brutto M. (2008). "La rete GNSS per il posizionamento in tempo reale dell'Università di Palermo: progetto, realizzazione e primi risultati". *Bollettino SIFET* (Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia) n. 3-2008, 107-124.
- Gandolfi S., Abbondanza G., Zanetti F. (2005): "Indagine delle proprietà statistiche di serie temporali di posizione applicata al caso della stazione permanente GPS della base Mario Zucchelli in Terra Vittoria (Antartide)".
- Mignard F. (2005): "Frequency Analysis Mapping On Unusual Samplings". VSWG, Genève, 6 Giugno 2005.
- Chersich M., De Giovanni A., Osmo M. (2002): "NDA: un tool italiano per il processamento automatico di dati da reti GPS permanenti". *Atti VI Convegno Nazionale ASITA*, Perugia, Italia, 2002.
- Cenni N., Albarello D., Anzidei M., Baldi P., Casula G., Galvani A., Loddo F., Mantovani E., Pesci A., Serpelloni E. (2000): "Possibile approccio metodologico all'analisi delle serie temporali di stazioni GPS permanenti per lo studio delle deformazioni crostali". *Atti XIX Convegno Nazionale del GNGTS*, Roma, Italia, 2000.
- Mao A., Harrison C., Dixon T. H. (1999): "Noise in GPS coordinate time series". *Journal of Geophysical Research*, vol. 104, pp. 2797 - 2816.
- Klobuchar J. A. (1996): "Global Positioning System: Theory and Applications". Volume I, Cap. XII: Ionospheric effects on GPS, 485-515, American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc.
- Niell A. E. (1996): "Global mupping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths". *Journal of Geophysical Research*, Vol. 101, n. B2, pp. 3227-3246.
- Agnew D. C. (1992): "The time domain behavior of power law noise". *Geophysical Research Letters*, Vol. 29, n. 4, pp. 333-336.
- Euler H.-J., Goad C. C. (1991): "On optimal filtering of GPS dual frequency observations without using orbit information". *Bulletin Geodesique*, n. 65, pp.130-143.

## Impiego di sensori *low cost* per la realizzazione di un prodotto innovativo di analisi del territorio: il video solido

Mattia De Agostino, Andrea Lingua, Marco Piras

Politecnico di Torino, DITAG, Tel. 011-5647661/7700, Fax 011-5647699  
e-mail: (mattia.deagostino / andrea.lingua / marco.piras)@polito.it

**Keywords:** Mobile mapping, low cost, image solida, GNSS/INS

### Riassunto

I sensori a basso costo hanno raggiunto in questi ultimi anni prestazioni che consentono il loro utilizzo anche per applicazioni di carattere geomatico, come ad esempio l'acquisizione di dati tridimensionali georiferiti a scopo ricognitivo o di analisi del territorio. A partire da precedenti soluzioni di *mobile mapping low cost* (Piras et al, 2008), gli autori propongono un nuovo sistema dotato dei seguenti sensori (con riferimento a Figura 1): una piattaforma inerziale integrata GPS/IMU (XSens MTi-G) (2), una *webcam* Logitech QuickCam Pro 9000 (3) e un *laser scanner* SICK LMS-100 (4). Sulla struttura sono anche stati montati 3 ricevitori geodetici GPS/GNSS Leica GX1230+GNSS (1) che hanno permesso di verificare la qualità del posizionamento fornendo una soluzione di confronto.



Figura 1 – Sistema mobile mapping utilizzato e sensori installati.

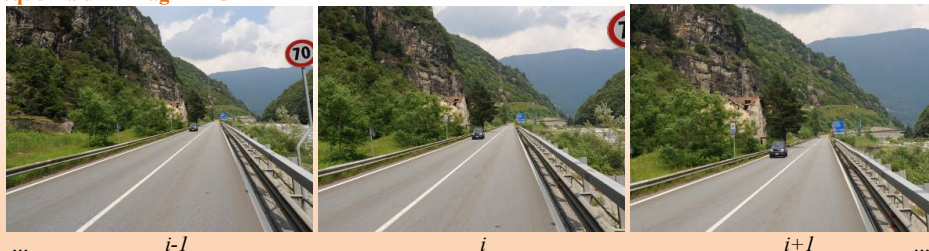
L'obiettivo del seguente lavoro è stato quello di combinare il dato LiDAR con le sequenze di immagini acquisite con la *webcam*, al fine di sviluppare un nuovo prodotto integrato di visualizzazione/interrogazione: il video solido.

L'idea nasce dalla definizione di immagine solida (Bornaz et al, 2003) in cui a un'immagine digitale si associa, per ogni *pixel*, la distanza compresa tra il centro di proiezione e il punto oggetto in esso rappresentato (matrice delle distanze). Questo permette di ricavare informazioni tridimensionali da una sola immagine solida al fine di effettuare misurazioni 3D di coordinate di punti, distanze tra punti, angoli, aree, volumi e quant'altro. Il video solido è definibile molto semplicemente come una sequenza di immagini solide. La sua struttura estende quella dell'immagine solida alle sequenze di immagini come indicato in Figura 2, memorizzando in più:

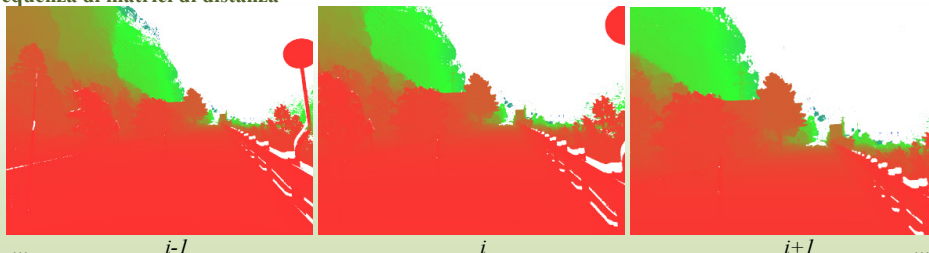
- i parametri di orientamento assoluto che definiscono la posizione della camera digitale rispetto ad un sistema di coordinate solidale con il mezzo in movimento;
- le posizioni del mezzo per ogni immagine solida *i-esima* in modo da poter definire le coordinate tridimensionali cartografiche dei dettagli in essa leggibili.

**Parametri camera digitale:** orientamento interno, distorsioni, orientamento esterno rispetto al mezzo

**1. Sequenza di immagini RGB**



**2. Sequenza di matrici di distanza**



**3. Posizione del mezzo:**

...  $(X, Y, Z, \omega, \phi, \kappa)_{i-1}$   $(X, Y, Z, \omega, \phi, \kappa)_i$   $(X, Y, Z, \omega, \phi, \kappa)_{i+1}$  ...

Figura 2 – La struttura del video solido.

Grazie a questi dati, è possibile osservare un'immagine solida appartenente alla sequenza, scegliere il *pixel* d'interesse, leggerne le sue coordinate cartografiche 3D e effettuare misurazioni di distanze, angoli, dislivelli, aree e quant'altro mediante uno specifico visualizzatore molto leggero (800 kb circa) e semplice da usare sviluppato dagli autori nel linguaggio Intel Visual Fortran e routine grafiche GINO.

Dopo una opportuna operazione di calibrazione svolta per definire le posizioni relative dei vari sensori (Schwarz et al, 2004), sono stati effettuati alcuni test di acquisizione lungo alcune strade statali in Piemonte al fine di verificare l'efficacia della soluzione proposta. La generazione del video solido è avvenuta avendo a disposizione i dati acquisiti dal sistema integrato descritto in precedenza, opportunamente elaborati (mediante software sviluppato dagli autori) per stimare le traiettorie e gli assetti del mezzo nel tempo (e quindi anche in corrispondenza dell'istante di acquisizione delle immagini) e le coordinate cartografiche dei punti rilevate dal sensore LiDAR.

Il video solido generato ha permesso di visualizzare rapidamente le caratteristiche della strada e di effettuare in modo molto semplice numerose misurazioni locali di distanze (larghezza sede stradale, larghezza corsia ecc.) con precisione relativa decimetrica, posizionando i dettagli misurati con accuratezza sub-metrica.

### Riferimenti bibliografici

- Bornaz, L., Dequal, S. (2003). "The solid image: A new concept and its applications", *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 34, 6/W12.
- Piras M., Cina A., Lingua A. (2008), "Low cost mobile mapping systems: an Italian experience", *IEEE/PLANS 08 proceedings*, Monterey (CA-USA), pp.1033-1045.
- Schwarz K.P., El-Sheimy N. (2004), "Mobile mapping systems – state of the art and future trends", *Int. Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Istanbul.



## Asinara 3D: il geoportale del Parco Nazionale dell'Asinara

Andrea Deiana

GeoInfoLab, CP 369 Olbia Centro, 07026 Olbia, [www.geoinfolab.com](http://www.geoinfolab.com), [info@geoinfolab.com](mailto:info@geoinfolab.com)

### Riassunto

Asinara 3D è il nuovo geoportale del Parco Nazionale dell'Asinara ([www.parcoasinara.org](http://www.parcoasinara.org)). Costruito a partire da foto aeree aventi una risoluzione a terra di 25cm/pixel ed erogato per mezzo della decennale tecnologia streaming SkylineGlobe by SKYLINE ([www.skylineglobe.com](http://www.skylineglobe.com)), leader mondiale nel settore, rappresenta uno strumento di grande utilità nella comunicazione *online*: esso include numerosi temi ed attributi utili, di interesse scientifico e di carattere ambientale, che supportano il visitatore nella fruizione ottimale dell'area sottoposta a tutela.

Asinara 3D è un progetto in continua evoluzione, che attualmente prevede a breve il caricamento dei temi prodotti nel progetto transfrontaliero RetraParc e la traduzione in italiano dei menù dello SKYLINE TerraExplorer Viewer, il *client* scaricabile gratuitamente e necessario alla visualizzazione del servizio.

### Abstract

Asinara 3D is the new geoportal by Asinara National Park ([www.parcoasinara.org](http://www.parcoasinara.org)). Made from aerial photos with a resolution of 25cm/pixel and delivered by decennial SkylineGlobe streaming technology by SKYLINE ([www.skylineglobe.com](http://www.skylineglobe.com)), 3D geo visualization world leader, it represents an powerful tool for online communication, including many useful themes and attributes of environmental and scientific interest, to support visitors in the optimal use of the protected area.

Asinara 3D is a continuously evolving project: shortly it would be including more themes produced by RetraParc transnational project and italian translation of SKYLINE TerraExplorer Viewer, the freely downloadable *client* needed for the visualization of the service.

### Premessa

Lo stato attualmente fruibile del servizio Asinara 3D è il risultato di un percorso di sviluppo iniziato nell'estate del 2007: in quell'anno l'Ente Parco Nazionale dell'Asinara e Area Marina Protetta Isola dell'Asinara (in seguito semplicemente Ente Parco) ha commissionato il volo aereo utilizzato in seguito per la costruzione della mappa 3D.

A seguire sono state compiute numerose azioni fino all'ottenimento dello stato attuale del servizio, che continua ad essere mantenuto ed aggiornato in relazione alla produzione di nuovi geodati ed allo sviluppo di nuovi strumenti in seno alle soluzioni *hardware* e, soprattutto, *software* adottate.

### Il flusso di processamento e distribuzione dei dati

A partire dai sorgenti di immagine ed elevazione è stata elaborata, in ambiente SKYLINE TerraBuilder, una mappa 3D globale, navigabile ed interrogabile interattivamente attraverso i client SKYLINE TerraExplorer.

Attraverso il client TerraExplorer Pro sono stati creati diversi progetti FLY, basati sull'utilizzo della suddetta mappa 3D e fruibili gratuitamente attraverso tutti i *client* della famiglia TerraExplorer: Pro, Plus, Viewer. I progetti FLY utilizzano la medesima mappa 3D come strato informativo di base ed integrano i livelli informativi di interesse: *feature layers*, *raster layers*, annotazioni, immagini, etc..



I *client* accedono al progetto FLY attraverso il web utilizzando lo *SKYLINE TerraGate streaming server*, capace di erogare porzioni spaziali differenti di mappe 3D, aventi dimensioni pari a decine e/o centinaia di GigaBytes (in seguito semplicemente GB), simultaneamente a diversi *client* via *web*.

I feature layers connessi al progetto FLY sono erogati via *web service*, attraverso il protocollo Web Feature Service (in seguito semplicemente WFS) approvato dall'Open Geospatial Consortium ([www.opengeospatial.org](http://www.opengeospatial.org), in seguito semplicemente OGC), mediante l'uso dell'applicativo open-source GeoServer ([www.geoserver.org](http://www.geoserver.org)).

Alcuni raster layers connessi al progetto FLY sono caricati via *web service* dai *server* della Regione Autonoma della Sardegna ([www.regione.sardegna.it](http://www.regione.sardegna.it) – in seguito semplicemente RAS), che li pubblica attraverso il protocollo Web Map Service (in seguito semplicemente WMS) approvato dall'OGC.

### La creazione della mappa 3D

La mappa 3D attualmente erogata è stata creata in ambiente Skyline TerraBuilder utilizzando un DTM avente maglia 5 metri, elaborato a partire dall'orografia (isoipse e punti quotati) della Carta Tecnica Regionale prodotta in scala 1:10.000 (in seguito semplicemente CTR 10K) della RAS, ed il mosaico a colori avente una risoluzione di 25 cm/pixel, derivante dalla ortocorrezione degli aerofotogrammi del volo specificatamente commissionato dall'Ente Parco nel 2007.

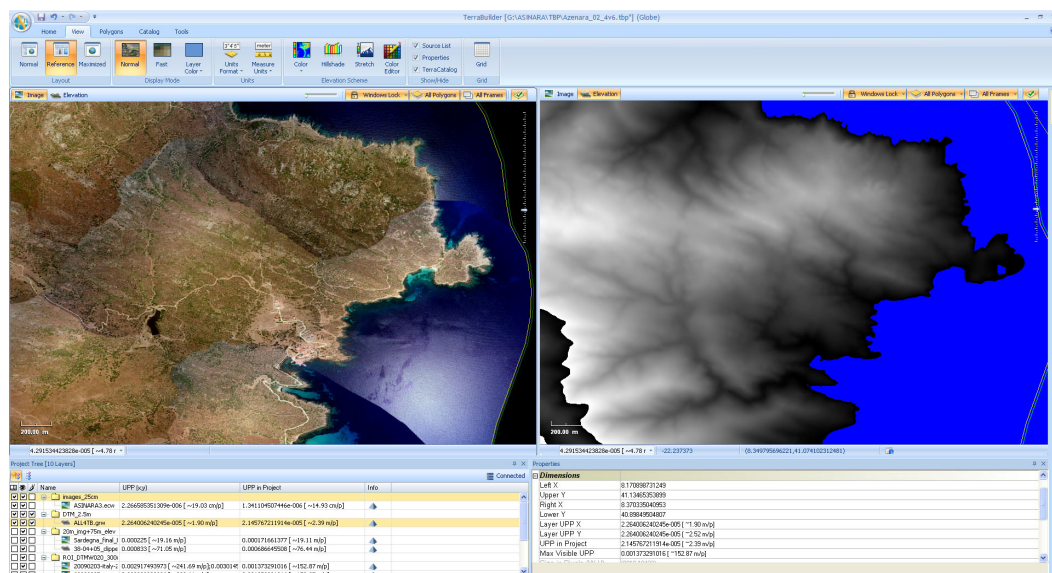


Figura 1 – La sincronizzazione di immagine ed elevazione in ambiente TerraBuilder.

La mappa 3D, prodotta nel formato proprietario MPT, integra l'alto dettaglio riprodotto per l'area di interesse (immagine con risoluzione pari a 25 centimetri/pixel ed elevazione con risoluzione pari a 2,5 metri/pixel per l'Isola dell'Asinara e l'Isola Piana, entrambi importate dal sistema Gauss-Boaga fuso Ovest in metri) con risorse aventi risoluzioni qualitativamente inferiori in relazione alla maggior distanza dalla stessa area di interesse: l'Isola di Sardegna (immagine con risoluzione pari a circa 25 metri/pixel ed elevazione con risoluzione pari a circa 90 metri/pixel, rispettivamente dal sistema WGS84 in decimal degrees e dal sistema Gauss-Boaga fuso Ovest in metri), l'Italia (immagine con risoluzione pari a circa 320 metri/pixel ed elevazione con risoluzione pari a circa 925 metri/pixel, entrambi importate dal sistema WGS84 in decimal degrees), il resto del mondo

(immagine con risoluzione pari a circa 7,42 chilometri/pixel ed elevazione con risoluzione pari a circa 14,84 chilometri/pixel, entrambi importate dal sistema WGS84 in *decimal degrees*).

Per ciascuna singola risorsa utilizzata, nelle diverse tipologie e formati di immagine e elevazione resi disponibili, è stata selezionata un'area di interesse attraverso la creazione di uno o più poligoni, sia di tipo inclusivo (l'area interna viene utilizzata nel calcolo della mappa 3D) che esclusivo (l'area interna non viene utilizzata nel calcolo della mappa 3D); per rendere graficamente meno fastidiosi i tagli tra le risorse utilizzate si è fatto uso del *feather*: fasce perimetrali ai singoli poligoni, di larghezza personalizzabile, che consentono di ottenere un effetto di sfumatura del dato utilizzato.

Il file MPT attualmente in uso è prodotto in modalità globale nel sistema WGS84, con coordinate angolari *decimal degrees* oppure *Degrees; Minutes; Seconds*, per una dimensione di circa 7,31 GB.

### Integrazione della mappa 3D con ulteriori dati di interesse: il progetto FLY

La mappa 3D prodotta, come già illustrato, nel formato MPT in ambiente SKYLINE TerraBuilder, è stata utilizzata come strato informativo di partenza per la creazione in ambiente SKYLINE TerraExplorer Pro di un progetto complesso restituito nel formato proprietario FLY.

Sono stati infatti importati diversi strati informativi vettoriali (*feature layers*) di ambiente GIS, in parte provenienti dalla CRT 10K della RAS, in parte dalla cartografia propria dell'Ente Parco, accumulata in numerosi lavori scientifici svolti nel corso degli ultimo decennio. Durante l'importazione, per ogni layer sono stati definiti vari parametri, tra cui l'altezza massima e minima di visualizzazione.

Alcuni strati informativi appartenenti invece alla tipologia *raster* (*raster layers*) sono stati importati attraverso il servizio WMS pubblicato dalla RAS.

Sono state quindi inserite ed eventualmente georiferite altre informazioni non strutturate in un *geodatabase*: immagini, documenti, oggetti 3D, etc..

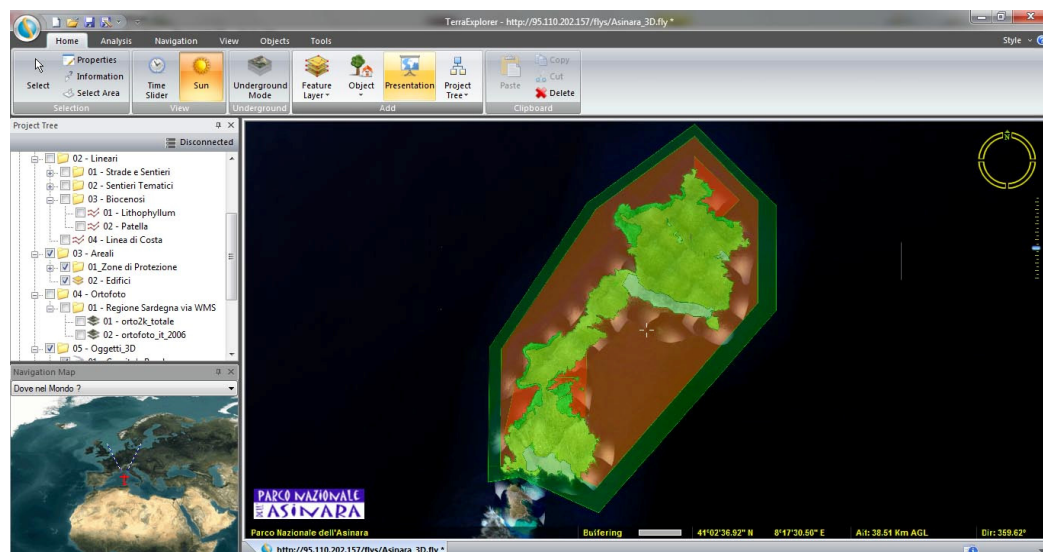


Figura 2 – La GUI del client SKYLINE TerraExplorer Viewer.

Tutte le informazioni sono organizzate in una struttura ad albero (in seguito chiamata *project tree*) che gli utenti trovano in un contenitore grafico in alto a sinistra dell'interfaccia grafica (*Graphic User Interface*, in seguito semplicemente GUI) del visualizzatore SKYLINE TerraExplorer Viewer: il *client* scaricabile gratuitamente e necessario per la visualizzazione del progetto FLY pubblicato come Asinara 3D. In cima al *project tree* troviamo le Aree Marine Protette (indicati con una stella)

ed i Parchi Nazionali italiani, quindi una grossa cartella inerente il Parco Nazionale dell'Asinara: questa contiene altre 7 sottocartelle, talvolta loro volta articolate in strutture ulteriormente ramificate e con contenuto informativo di vario genere, come di seguito riportato:

01 – Puntuali

- 01 – Toponimi (*feature layer*)
- 02 – Campo Boe (*feature layer*)
- 03 – Alberi (*feature layer*)

02 – Lineari

- 01 – Strade e Sentieri
  - 01 – Strade Asfaltate (*feature layer*)
  - 02 – Strade Bianche (*feature layer*)
  - 03 – Sentieri (*feature layer*)

02 – Sentieri Tematici

- n.1 – Granito (*feature layer*)
- n.2 – Castellaccio (*feature layer*)
- n.3 – Acqua (*feature layer*)
- n.4 – Muflone (*feature layer*)
- n.5 – Memoria (*feature layer*)
- n.6 – Asino (*feature layer*)
- n.7 – Leccio (*feature layer*)
- n.8 – Faro (*feature layer*)

03 – Biocenosi

- 01 – Lithophyllum (*feature layer*)
- 02 – Patella (*feature layer*)

04 – Linea di Costa (*feature layer*)

03 – Areali

01 – Zone di Protezione

01 – Zone AMP

- 01 – Zona A (*feature layer*)
- 02 – Zona B (*feature layer*)
- 03 – Zona C (*feature layer*)

02 – Zone Parco

- 01 – Zona A (*feature layer*)
- 02 – Zona B (*feature layer*)
- 03 – Zona C (*feature layer*)

02 – Edifici (*feature layer*)

04 – Ortofoto

01 – Regione Sardegna via WMS

- 01 – orto2k\_totale (*raster layer*)
- 02 – ortofoto\_it\_2006 (*raster layer*)

05 – Oggetti 3D

- 01 – Granito's Road (*3d moving ground object*)
- 02 – Porto Torres / La Reale AR (*3d moving naval object*)
- 03 – Elicottero (*3d moving aerial object*)

06 – Meteo

- 01 – Stazione Meteo (*hyperlink*)

07 – Documenti

- 01 – L'istituzione del Parco (*PDF document*)
- 02 – Listituzione dell'AMP (*PDF document*)
- 03 – Il Regolamento (*PDF document*)

La GUI riporta poi, oltre alla finestra principale di navigazione interattiva 3D ed al *project tree*, un terzo contenitore che include le mappe di riferimento (in seguito semplicemente *navigation map*): possiamo selezionare una delle due mappe attualmente disponibili e verificare la posizione e l'orientamento del punto di osservazione che origina in ogni istante la visualizzazione 3D.

Il progetto FLY è stato quindi ottimizzato per la pubblicazione sul web, modificando i percorsi necessari al caricamento delle risorse esterne: mappa 3D di base, *layers* (vettoriali e *raster*), oggetti 3D, immagini, etc..

### L'architettura del servizio online

Gli utenti accedono al servizio Asinara 3D tramite l'URL <http://95.110.202.157/flys/index.asp>, raggiungibile direttamente dalle pagine del portale dell'Ente Parco ([www.parcoasinara.org](http://www.parcoasinara.org)) oppure tramite i motori di ricerca.

Ai nuovi utenti vengono fornite tutte le informazioni utili per il download e l'installazione dello SKYLINE TerraExplorer Viewer, il *client* scaricabile gratuitamente e necessario alla visualizzazione del servizio; gli utenti abituali sono invece abilitati ad utilizzare il progetto FLY pubblicato. Questo viene infatti aggiornato di frequente, come meglio specificato nell'apposita sezione "news" del portale.

Il progetto FLY è un file di poche centinaia di *KiloBytes* (attualmente inferiore al singolo *MegaByte*) che si scarica facilmente; questo contiene tutte le impostazioni generali del progetto e i riferimenti ad ogni singola risorsa che ne risulta parte, dall'indirizzo della mappa 3D di base ai diversi *layers* di interesse.

I 7,31 GB della mappa 3D dell'Asinara sono infatti erogati in *streaming* dall'applicazione *server* SKYLINE TerraGate: questa utilizza appunto un potente algoritmo capace di erogare, ai diversi client che contemporaneamente ne fanno richiesta, diverse porzioni della mappa 3D di base con straordinaria resa grafica, utilizzando la struttura piramidale e multi-risoluzione dello stesso file MPT.



Figura 3 – Esempio di interrogazione di *feature layer* con visualizzazione dei relativi attributi.

I *layer* vettoriali sono richiamati dal *client* andando ad interrogare, attraverso l'utilizzo di una tecnologia *streaming* che divide i singoli *layers* in relative aree (*tiles*, la cui dimensione viene stabilita per ogni sorgente in sede di progetto), l'applicativo *server open-source* GeoServer ([www.geoserver.org](http://www.geoserver.org)), sia attraverso il protocollo OGC WFS 1.0.0 (<http://95.110.202.157:8083/geoserver/ows?service=wfs&version=1.0.0&request=GetCapabilities>) che per mezzo del più recente protocollo OGC WFS 1.1.0 (<http://95.110.202.157:8083/geoserver/ows?service=wfs&version=1.1.0&request=GetCapabilities>). In maggior dettaglio, i *client* che richiedono la visualizzazione di uno o più *layers*, scaricano



solamente la porzione di questi utile all'area utile per la produzione della vista 3D, riducendo la banda ed il carico di lavoro necessario al download e, nel contempo, ottimizzando la resa grafica finale.

I *feature layer* sono spesso accompagnati da una tabella di attributi, che è possibile interrogare con un semplice click del mouse.

La stessa tabella attributi può essere utilizzata per associare ad ogni oggetto del *layer* un evento: ad esempio, uno specifico percorso dal quale caricare un'immagine (come nel *layer* poligonale relativo agli "edifici"), oppure da utilizzare come *hyperlink* per aprire una pagina web, ovvero come *script* da lanciare.

I *layers* di tipo *raster* sono invece interrogati attraverso il servizio WMS della RAS all'indirizzo [http://webgis.regione.sardegna.it/wmsconnector/com.esri.wms.Esrimap/ras\\_wms?service=WMS&request=GetCapabilities](http://webgis.regione.sardegna.it/wmsconnector/com.esri.wms.Esrimap/ras_wms?service=WMS&request=GetCapabilities).

L'utente finale può decidere di visualizzare o meno un *layer* od un gruppo di questi, semplicemente selezionando il relativo *box* all'interno del *project tree*.

### Le funzioni avanzate del client SKYLINE TerraExplorer Viewer

Oltre alle classiche funzionalità (*pan*, *zoom in*, *zoom out*, *query*, ...) disponibili nei più comuni Web GIS 2D, il client SKYLINE TerraExplorer Viewer, di cui è possibile scaricare gratuitamente la release 6.0.1, dispone di avanzati strumenti di analisi 3D: *contour map*, *slope map*, *best path*, *terrain profile*, *flood*, *volume*, *line of sight*, *viewshed*, *threat dome*, *shadow analysis*.

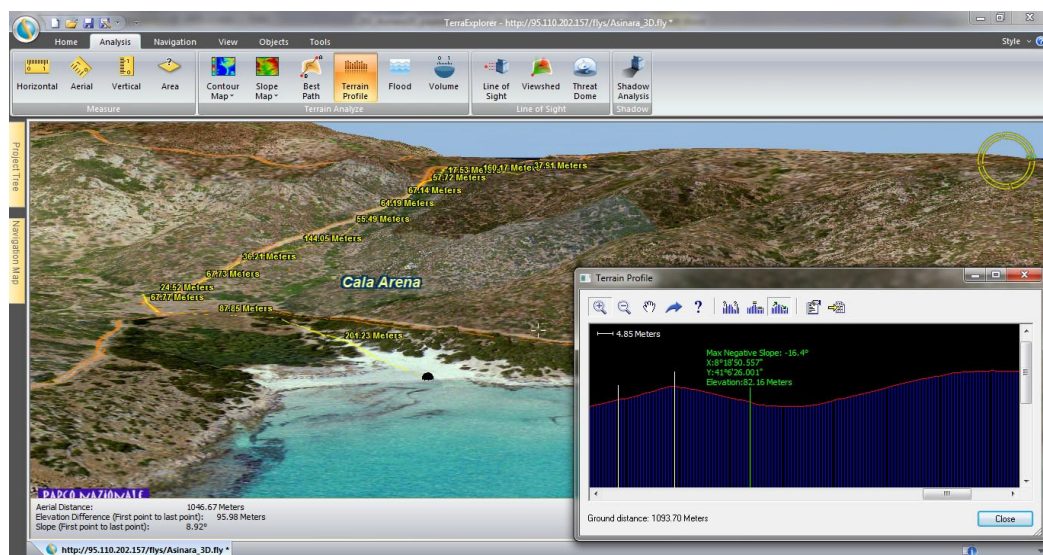


Figura 4 – Esempio di interrogazione 3D con lo strumento Terrain Profile.

Lo stesso SKYLINE TerraExplorer Viewer consente di interfacciare uno o più dispositivi GPS da porta COM ovvero da *file* attraverso protocollo NMEA 0183, consentendo di tracciare in tempo reale la propria posizione ed un numero scelto di punti recenti e facilitando la comprensione del posizionamento delle unità mobili di interesse.

E' inoltre possibile visualizzare ed interrogare il sottosuolo e le risorse ivi eventualmente caricate, annotare il terreno 3D (con immagini, testo, linee e poligoni), di creare delle presentazioni interattive avanzate e di creare dei filmati, di salvare progetti (nel formato FLY) e di caricare layers (nei formati FLY, KML e KMZ).

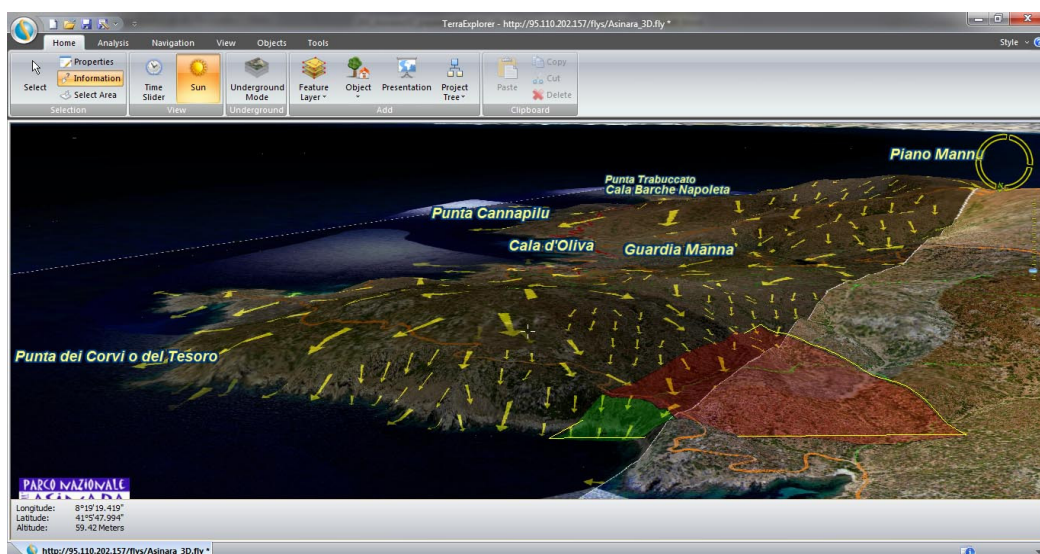


Figura 5 – Esempio di interrogazione 3D con gli strumenti Slope Map e Viewshed.

### Attività previste nel prossimo futuro

Tra le attività inerenti il servizio Asinara 3D previste per la fine del 2011 è possibile citare l'integrazione dei layer in produzione a seguito del progetto transfrontaliero RetraParc ([www.retraparc.org](http://www.retraparc.org)) e la traduzione in italiano del client SKYLINE TerraExplorer Viewer.

### Ringraziamenti

Mi preme sottolineare come l'intero progetto Asinara 3D, e di conseguenza anche questo lavoro, non avrebbe mai avuto inizio senza la capacità e la lungimiranza del Direttore dell'Ente Parco, il Dott. Carlo Forteoloni, cui vanno i miei più sinceri ringraziamenti.

### Bibliografia

- Deiana A. (2010) "Applicazioni 3D/4D globali: oltre tutte le barriere". In *Atti del Convegno Annuale dell'Associazione Italiana di Cartografia 2010 - Gorizia* (in stampa).
- Deiana A., Minghetti A., Lorenzini L., Africani P. (2009) "Bologna 3D: la pianificazione partecipata del Piano Strutturale Comunale", rivista bimestrale GeoMEDIA n.06-2008 pp 26-28.
- Deiana A. (2008) "SkylineGlobe: 3D WEB GIS Solutions for Environmental Security and Crisis Management". *NATO Advanced Research Workshop "Geographical Information Processing and Visual Analytics for Environmental Security"* - Trento. ISBN 978-90-481-2898-3; ISSN 1874-6519, pp 363-373.
- Deiana A. (2007) "TerraSuite Real-Time 3D Interactive Web Mapping Service Model". *13th EC-GI&GIS Workshop "INSPIRE Time: ESDI for the Environment"- Parallel and Poster Session Abstracts* (Edited by Karen Fullerton and Eva Paukenrova - European Commission Joint Research Centre - Institute for Environment and Sustainability) - EUR 22792 EN; ISBN 978-92-79-06045-8; ISSN 1018-5593. Porto, Portugal 4-6 July 2007 - Session: Posters I - p. 170.
- Deiana A. (2006) "L'informazione geografica globale in rete: la tecnologia Terra in SkylineGlobe per l'erogazione seamless in streaming di vastissimi geodatasets 3D". *Atti della Conferenza Tematica AMFM2006 - Roma* - ISSN 1722-9790.





## **Un Sistema Informativo Territoriale per la salvaguardia del patrimonio architettonico in Basilicata**

Maurizio Delli Santi

CNR, IBAM, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto per i Beni Archeologici e Monumentali  
Area di Ricerca di Potenza, Contrada Santa Loja Z.I., 85050 Tito Scalo (PZ)  
Tel. 0971. 427328, Fax 0971. 427333, E-mail: m.dellisanti@ibam.cnr.it

### **Riassunto**

Il recupero e la fruizione su supporto elettronico del materiale documentario inerente il patrimonio architettonico, lo sviluppo di metodologie della tecnologia digitale applicata ai beni culturali e l'utilizzo di sistemi tecnologici ed informatici innovativi, sono diventati oggi sempre più diffusi. Le potenzialità offerte da tali tecnologie nella progettazione e successiva gestione dell'informazione nel campo della conservazione del patrimonio culturale sono molteplici e in particolare la digitalizzazione dei dati è oramai ritenuta parte essenziale di un percorso finalizzato alla sua valorizzazione. In particolare, tra le nuove tecnologie applicate sono sempre più ricorrenti i Sistemi Informativi Territoriali, che nascono come strumenti per il controllo del territorio e sono dotati di una flessibilità tale da poter essere applicati in differenti settori di studio.

Il presente lavoro rientra nell'ambito del progetto di ricerca denominato "Tutela del territorio e conservazione del patrimonio Culturale in Basilicata in relazione all'evoluzione del paesaggio ed ai fattori di rischio geomorfologico" che l' IBAM-CNR sta conducendo nella Valle dell'Agri.

Sono stati individuati diciannove comuni della valle nei quali censire e catalogare l'intero patrimonio architettonico da implementare successivamente all'interno di un geodatabase appositamente strutturato secondo i criteri richiamati dalla scheda "A" dell' ICCD. A tale scheda sono stati aggiunti dei nuovi campi atti a valutare la pericolosità sismica a cui è esposto il patrimonio architettonico, in particolare si è fatto riferimento ai danni riportati dai monumenti durante il terremoto irpino del 1980. Tutto il lavoro potrà essere consultato successivamente su un portale WebGis dell' IBAM-CNR.

Il fine ultimo del progetto è la definizione di una "Carta del Rischio" del patrimonio architettonico della Basilicata, quale base imprescindibile per la pianificazione di interventi di protezione e conservazione dei beni culturali esposti ai rischi naturali.

### **Abstract**

The recovery and the electronic fruition of documentary material in architectonic heritage, the development of digital technology methodologies for cultural heritage and the use of new technological and informative systems are more and more diffused. The potential of these technologies for the planning and the subsequent management of information in cultural heritage fields is various and, above all, the digitalization of data is considered now an essential part in a course to heritage valorization. Particularly, among the new applied technologies the Geographical Information Systems, that come up as instruments for the control of territory and are so flexible that they can be applied in different research areas, are more and more frequent.

This work is part of a research project called "The safeguard of the territory and the conservation of cultural heritage in Basilicata in relation to landscape evolution and geo-morphological risk factors", that IBAM-CNR is carrying out in Val d'Agri.

Nineteen centers in the valley have been chosen to analyze and to catalogue their whole cultural heritage, that will be after implemented in a geodatabase, which is expressly structured following tab "A" criteria of ICCD. New fields to evaluate the seismic hazard for architectonic heritage have been added to this tab, specifically in reference to the damages of monuments during the Irpinia earthquake in 1980. Then the complete research will be available on a WEB-GIS portal of the IBAM-CNR. The final aim of the project is the definition of a "Risk Map" of the architectonic and archaeological heritage in Basilicata, as fundamental base for the planning of safeguard and conservation interventions for cultural heritage that is subjected to natural risks.

### **Introduzione**

Il dato geografico presenta caratteristiche specifiche rispetto agli altri tipi di dati perché l'informazione che contiene è caratterizzata da una specifica posizione nello spazio. Il dato geografico è costituito dall'insieme di coordinate geografiche, dal valore numerico del dato stesso, dalla posizione che occupa nel tempo, dagli attributi, ecc. Associando ad una semplice coppia di coordinate geografiche una serie di altri valori numerici, alfanumerici, statistici, il dato geografico si trasforma in informazione, informazione che, rappresentata su una mappa per mezzo delle tecnologie GIS, risulta avere potenzialità di utilizzo davvero elevate.

I GIS nascono dunque come strumenti per il controllo del territorio, oggi si riconosce ad essi una flessibilità tale da poter essere applicati in differenti settori del patrimonio culturale. Si sta assistendo al trasferimento delle funzionalità specifiche dei GIS al campo della conservazione del patrimonio edilizio esistente, in particolare dell'edilizia storica e monumentale. Si abbandonano quindi le scale urbanistiche per raggiungere livelli di rappresentazione diversi, fino ad arrivare a quelli tipici del manufatto architettonico.

Per il presente lavoro sono stati selezionati 19 Comuni ricadenti nell'Alta Val d'Agri caratterizzati da un considerevole patrimonio storico-architettonico ed archeologico, potenzialmente esposto a rischi geologici naturali quali quello sismico e quello idrogeologico. L'area di studio ricade, infatti, in un settore assiale della catena appenninica meridionale, caratterizzato da attività neotettonica e da un alto grado di pericolosità sismica, come dimostrano i dati di sismicità storica disponibili per tale settore.

### **Catalogazione dei beni architettonici e definizione dei rischi naturali**

Il censimento e la catalogazione del patrimonio storico-architettonico (beni architettonici ricadenti in aree urbane e territoriali extra-urbane) dell'area di studio sono stati realizzati secondo i criteri richiamati dalla scheda A dell'ICCD (Istituto Centrale del Catalogo e Documentazione) integrando parzialmente o totalmente la documentazione esistente presso la Soprintendenza Beni Architettonici e Paesaggistici di Potenza.

Gli elementi censiti sono stati successivamente georeferenziati nel sistema di riferimento Gauss-Boaga ed inseriti in un geodatabase per permettere la successiva fase di sovrapposizione con le aree di pericolosità. Nell'ambito dei geodatabase sono stati inserite numerose informazioni, quali i riferimenti normativi, i vincoli, i dati catastali, qualità dei materiali e tipologia, stato di conservazione e degrado (Fig. 1).

Per valutare invece, la pericolosità sismica a cui sono esposti i beni architettonici censiti, non è stata considerata l'intensità macrosismica per l'intero territorio comunale, bensì si è fatto riferimento ai danni riportati dagli stessi durante il terremoto irpino del 23 novembre 1980, attribuendo a ciascun edificio un livello di danno macrosismico secondo quanto previsto dalla scala macrosismica europea EMS (Gründal, 1998), che prevede cinque livelli di danno ( $D_{1-5}$ ). A tal fine si è tenuto conto delle perizie direttamente rilevate sul posto a seguito del terremoto e delle descrizioni dei danni riportate da Frattani (1982) e Proietti (1994), che riferiscono, rispettivamente, dei danni subiti dal patrimonio monumentale in Basilicata censiti dalla Soprintendenza per i Beni Ambientali e Architettonici di Potenza, e dei danni subiti dai beni mobili ed immobili con i relativi interventi di restauro conservativo.

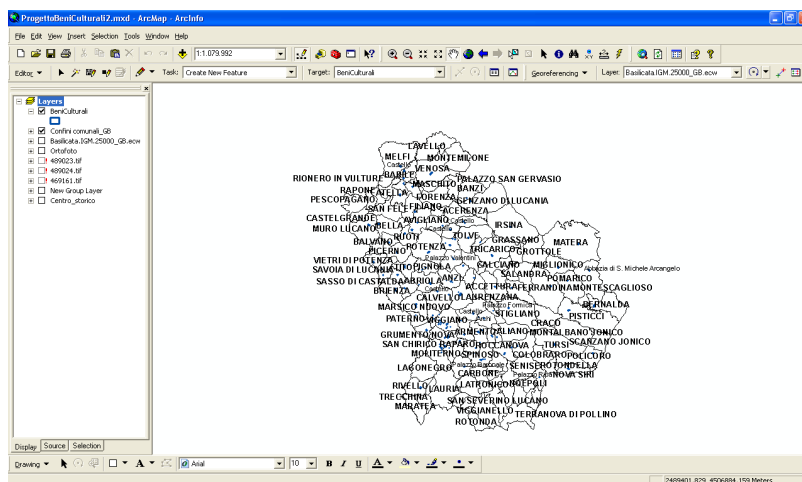


*Figura 1 – Schermata durante una sessione di lavoro: si evidenziano i comuni della Basilicata.*

## Struttura del GIS

I dati inseriti nel GIS sono raggruppabili in due categorie: dati spaziali (posizione degli elementi geografici, nel nostro caso i beni architettonici) e dati attributi (denominazione del monumento, località, comune, epoca, tipologia etc.) associati ai dati spaziali.

Detto ciò soffermiamoci ora sull'architettura del nostro Sistema Informativo Territoriale, denominato ArcGIS della Esri.

Le fasi essenziali nelle quali si è articolata la progettazione e redazione del GIS sono le seguenti: studio delle informazioni, costruzione delle tabelle, individuazione delle topologie e loro collegamento con tabelle, creazione delle tabelle.

Per quanto concerne gli elementi del territorio, si possono distinguere tre tipi principali: areali, lineari, puntuali. La scelta di una topologia da riferire al geotipo (ossia alla classe di oggetto grafico) dipende non solo dalla sua estensione nello spazio, ma anche dall'uso che si vuol fare di ogni elemento in fase di gestione. Ad esempio, un castello può essere identificato con il tipo areale nel caso in cui si voglia conoscere la ripartizione spaziale interna o, con quello puntuale nel caso in cui si desideri costruire, su un territorio, una mappa delle interrelazioni tra tipologie strutturali differenti.

Nel nostro caso, infatti, la tipologia riferita algeotipo-monumento è stata di tipo areale (Fig. 2). Sempre nel nostro caso le tabelle, create con script in SQL (Standard Query Language) sono collegate al geotipo attraverso il legame ID che viene automaticamente gestito da ArcGIS.

Le fasi essenziali per produrre un'elaborazione del dato geografico sono: input dei dati, gestione, analisi e presentazione dei dati tramite WebGIS.

Le informazioni inserite nel GIS provengono da supporti cartacei, tabelle attributi o database esterni. Mentre i dati attributo sono stati introdotti da tastiera, quelli spaziali (mappe, rilievi, foto aeree ecc.) sono stati implementati mediante digilizzazione manuale, scanning e files grafici in formato vettoriale. Nel nostro caso, la base cartografica, opportunamente georeferenziata è rappresentata dall'unione delle tavolette cartografiche in scala 1:25.000. Per alcuni monumenti di particolare valore storico-architettonico, è disponibile una cartografia di maggior dettaglio, in scale di rappresentazione che vanno dall'ortofotocarta (1:10.000) ai rilievi fotogrammetrici (1:5000 e 1:2000) per finire con foto aeree nadirali ed oblique.

La gestione dei dati, ovvero le procedure per archiviare e ricercare le informazioni introdotte in un GIS sono affidate ad un database relazionale riguardante sia gli elementi geometrico-spaziale che i dati oggetto a questi associati. In particolare, il percorso di individuazione delle informazioni è strutturato mediante chiavi di ricerca a differente gerarchia e con target univoco. Ad esempio, è possibile ricercare le singole emergenze artistico-architettoniche dei monumenti, le caratteristiche strutturali e morfologiche (tipi murari, impianto architettonico ecc.) dell'emergenza. La gestione dei tematismi cartografici associati ad un determinato monumento è stata affidata alla tecnica dell'overlay, cioè della codifica per layer differenti delle informazioni di base. I dati oggetto che afferiscono ad una problematica (stato di conservazione, storia, caratterizzazione storico-artistica, caratterizzazione geolitologica del territorio, ecc.) dal database grafico vengono, quindi, immessi nel database relazionale (Fig. 3). Tale passaggio avviene in automatico (Fig. 4).

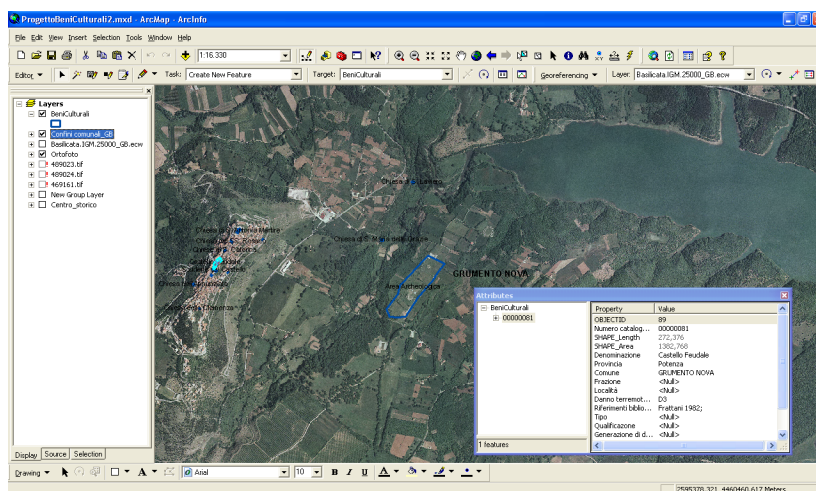


Figura 2 – Schermata durante una sessione di lavoro: si evidenzia la tipologia riferita algeotipo-monumento del tipo areale.

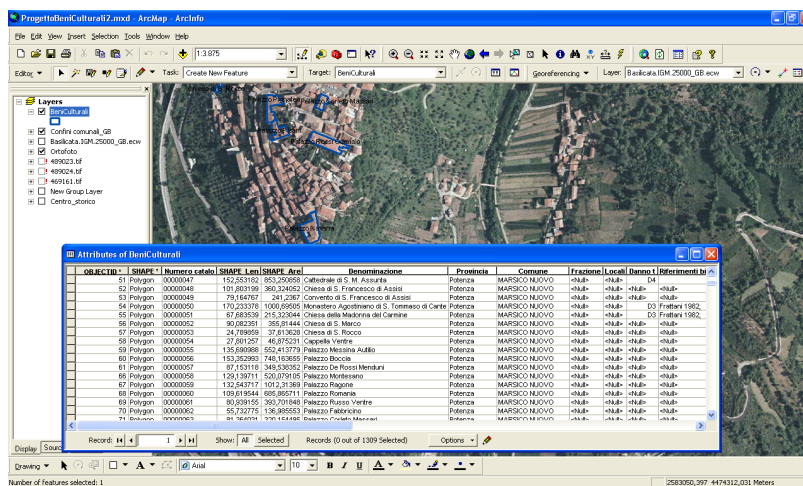


Figura 3 – Schermata durante una sessione di lavoro: si evidenzia il database associato ai dati spaziali (beni architettonici).

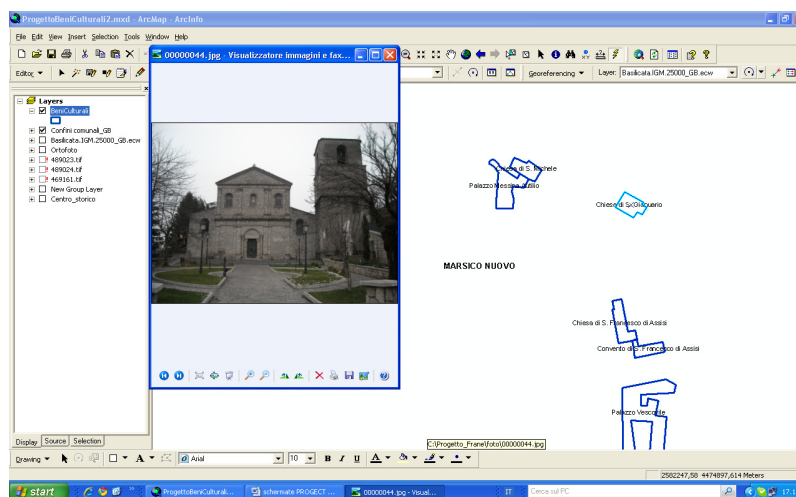


Figura 4 – Schermata durante una sessione di lavoro: si evidenzia la foto associata ai dati spaziali (beni architettonici).

## Bibliografia

- Frattani (1982), *Sisma 1980 effetti sul patrimonio artistico della Campania e della Basilicata*. Ministero per i Beni Culturali ed Ambientali. Suppl. 3, *Bollettino d'Arte*.
- Proietti (1994), *"Dopo la polvere. Rilevazione degli interventi di recupero post-sismico del patrimonio archeologico, architettonico ed artistico delle regioni Campania e Basilicata danneggiato dal terremoto del 23 novembre 1980 e del 14 febbraio 1981"*. Ministero per i Beni Culturali e Ambientali. Tomo V. Province di Matera e Potenza.
- Grünthal, G.G. (1998), *European Macroseismic Scale 1998*. Conseil de l'Europe Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Luxembourg vol. 15.
- Delli Santi M., Gizzi F.T., Masini N., Pellettieri A., Potenza M.R., Santagata P. (1999), *Il G.I.S. nella fotointerpretazione aerea di un territorio: Monte Serico in Basilicata*, in Atti della 3ª Conferenza Nazionale ASITA: Informazioni Territoriali e Rischi Ambientali (Napoli, 9-12 novembre 1999), vol. II, 703-708.
- Delli Santi M., Giaccari E. (2000), *Applicazione del GIS per la rivalutazione dei Beni Culturali: le torri costiere nella provincia di Terra d'Otranto*, in Atti del Convegno Internazionale organizzato dall'Università degli Studi del Sannio "Sviluppo economico e sostenibilità: il turismo ambientale e culturale occasione di nuova occupazione" (Anacapri, 2-6 Novembre 2000), vol. II, 399-402.
- Delli Santi M., Masini N., Montesano N., Pellettieri A., Potenza M. R. (2001), *G.I.S. e Beni Culturali: i centri scomparsi nella Basilicata*, in Atti della 5ª Conferenza Nazionale ASITA: La qualità nell'Informazione Geografica (Palacongressi di Rimini, 9-12 ottobre 2001), vol. II, 701-706.
- Delli Santi M. (2004), *Gis per la catalogazione, gestione e valorizzazione della Rabatana di Tursi*, Ministero per i Beni e le Attività Culturali e Fondazione Sassi di Matera (a cura di Cosimo Damiano Fonseca), Altrimedia Edizioni, Matera, 331-334.
- Delli Santi M. (2008), *Cultural Heritage management in GIS: cataloguing of ancient marbles in Apulia (Southern Italy)*, Proceeding of the 1<sup>st</sup> International EARSeL Workshop, (CNR - Rome, September 30 – October 4, 2008), Roma, 355 – 358.
- Delli Santi M. (2008), *Censimento e catalogazione dei "marmi antichi": un'applicazione G.I.S.*, in Atti della 12ª Conferenza Nazionale ASITA, Federazione Italiana delle Associazioni Scientifiche per le informazioni territoriali e Ambientali (L'Aquila, 21 - 24 ottobre 2008), vol. I, 1019 - 1024.



## Un esempio di portale per il turismo transfrontaliero con funzionalità di DSS

Roberto Demontis, Eva Lorrai, Laura Muscas

CRS4, Parco Scientifico e Tecnologico della Sardegna, Pula (Ca), Tel. +39 070 925340, e-mail demontis@crs4.it

### Riassunto

Il Progetto TOURRENIA (*Tourisme Réseaux Niches Accessibles – Turismo Reti Nicchie Accessibili*), finanziato nell'ambito del Programma Operativo Marittimo Italia Francia, ha l'obiettivo di potenziare i servizi turistici dei quattro territori coinvolti: Palau (Sardegna), Porto Venere (Liguria); Forte dei Marmi (Toscana), Bastia (Corsica). Il CRS4, partner tecnologico, ha il compito di realizzare il Sistema Tourrenia che consentirà: ai Comuni partner di monitorare sia i servizi di qualità che le criticità e di dare risposte, sulla base di diversi criteri, in merito alle scelte prioritarie di intervento, attraverso un Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS); agli operatori turistici, adeguatamente formati, di consultare i dati di interesse e di pubblicare le proprie offerte tenendo presente costantemente le esigenze espresse dai turisti; ai turisti di consultare le informazioni e/o offerte proposte ed al contempo di creare itinerari in base alle proprie esigenze/preferenze e di segnalare punti di interesse non evidenziati e/o eventuali carenze riguardanti l'accessibilità sul territorio. Sulla base di un'analisi dei fabbisogni dei territori partner rispetto agli obiettivi del progetto sono state definite le funzionalità e il modello del dato del Sistema. In particolare il Sistema Tourrenia sarà costituito da un portale e 4 nodi relativi ai 4 comuni partner tutti accessibili via web. Il portale rappresenta la porta di accesso ai dati e alle funzionalità del Sistema mentre i Nodi contengono il DSS e i dati. Le funzionalità sono assimilabili ad un Web GIS per la pubblicazione del dato GIS; un *Content Management System* (CMS) per la gestione dei contenuti; un DSS per le elaborazioni delle segnalazioni degli utenti e delle caratteristiche di accessibilità, sostenibilità e qualità; un *Location Based Service* (LBS) per la fruizione delle informazioni turistiche da device mobili. Il portale rispetta i criteri di accessibilità, integra l'offerta turistica dei territori partner in un'ottica transfrontaliera e garantisce l'indipendenza nel trattamento e gestione del dato a livello territoriale, delegati ai Nodi. Nella presente nota viene descritto lo stato d'avanzamento del progetto Tourrenia.

### Abstract

*The TOURRENIA (Tourisme Réseaux Niches Accessibles – Turismo Reti Nicchie Accessibili) Project, funded inside the coastal Italy and France transfrontier maritime cooperation program, aims to enhance tourist services in the four municipalities involved: Palau (Sardinia), Portovenere (Liguria), Forte dei Marmi (Tuscany), Bastia (Corsica). The CRS4 (Center for Advanced Studies, Research and Development in Sardinia) task is create The Tourrenia System that will allow: at the municipalities partners monitor both quality services and problems and give answers, based on different criteria, about the priority decisions, through a DSS (Decision Support System), at the trained tour operators consult the data of interest and publish their offers taking into account the tourists reports, tourists consult the informations and the touristic offers and, at the same time, create itineraries based on their needs / preferences and report points of interest not highlighted and / or deficiencies relating the territory accessibility. Based on the analysis of the partners needs, with respect to the project aims has been defined a data model of the system. In particular, the Tourrenia system will consist of a web site and 4 nodes, one for each partner, all accessible via web.*



*The portal is the gateway to system data and functionality, while the nodes contain DSS and data. The features are like a Web GIS for the GIS data publication, a Content Management System (CMS) for content management, a DSS for the users' reports processing and accessibility, sustainability and quality features, a Location Based Service (LBS) for the tourist information use by mobile devices. The web site follows the accessibility criteria, integrates the partners tourism offers in a transfrontier perspective and ensures independence of the data treatment and management at the municipalities level, delegates to the nodes. This note describes the Tourrenia project progress.*

### **Introduzione**

L'obiettivo principale del progetto TOURRENIA ([https://tourrenia.crs4.it/Portal/it/il\\_progetto.wp](https://tourrenia.crs4.it/Portal/it/il_progetto.wp)), al suo secondo anno di attività, è di avvicinare domanda e offerta nell'ambito del turismo e facilitare la gestione del territorio nell'ottica di un turismo sostenibile ed accessibile.

Tale strumento sarà utile per i seguenti attori e ambiti:

- ▲ ai turisti o cittadini per l'accesso alle informazioni riguardanti offerte, eventi e strutture turistiche e per la segnalazione di disservizi o eccellenze;
- ▲ agli operatori turistici per la pubblicazione delle proprie offerte e/o per l'integrazione delle stesse con altri servizi e/o per il miglioramento dei servizi stessi;
- ▲ agli enti pubblici per favorire lo sviluppo dell'occupazione e l'imprenditorialità in ambito turistico, e per la disponibilità di un *Decision Support System* (DSS) comprensivo di funzionalità GIS per la gestione e promozione turistica del territorio.

Allo stesso modo si vuole creare un network tra enti pubblici che permetta di condividere e migliorare la gestione del turismo e le buone pratiche ad esso collegate.

Nella prima fase del progetto, parallelamente alle attività dei tavoli transfrontalieri per il necessario coinvolgimento degli operatori turistici, è stata progettata ed implementata la prima versione del sistema, già disponibile on-line ma priva ancora dell'informazione turistica. Allo stato attuale infatti è in fase di ultimazione il popolamento dei *database* con i dati relativi ai quattro territori coinvolti. Nell'ultimo anno di progetto saranno implementate le parti relative al DSS e all'accesso delle informazioni tramite dispositivi mobili come descritto più avanti.

### **Studio preliminare**

Da una analisi dei fabbisogni dei quattro territori partner, rispetto agli obiettivi del progetto, sono state definite le funzionalità ed il modello dei dati del sistema che rappresenta un erogatore di informazioni piuttosto che di servizi.

Il modello dei dati adottato è il risultato di un processo di armonizzazione di quanto rilevato nei comuni partner sia nella gestione che nella divulgazione dell'informazione turistica. Il dato di base del sistema utilizzato nelle funzioni del DSS è costituito per la parte specificatamente turistica dalle entità "Struttura Turistica", "Evento Turistico" e "Segnalazione", per la parte relativa alla mobilità dall'entità "Grafo Viario".

Le entità "Risorsa Turistica" e "Evento Turistico" contengono le informazioni descrittive di base dei contenuti turistici e gli indicatori su qualità e accessibilità. La loro immissione avviene in modalità automatica o tramite le funzioni del CMS (*Content Management System*).

L'entità "Segnalazione" consente ai turisti di dare indicazioni sulla qualità e l'accessibilità delle risorse e del territorio.

L'entità "Grafo Viario" contiene le informazioni di base sulla mobilità compresi gli indicatori sull'accessibilità quali presenza di ostacoli, tipo di fondo stradale e pendenza media. Questa entità non è gestita dal CMS ma direttamente nel DBMS (*DataBase Management System*) ([http://it.wikipedia.org/wiki/Database\\_management\\_system](http://it.wikipedia.org/wiki/Database_management_system)) e la sua immissione avviene in modalità automatica.

Oltre alle entità che costituiscono il dato di base delle funzioni del DSS ne sono state individuate altre quali ad esempio: “Offerta turistica” per la gestione delle offerte turistiche transfrontaliere; “Video” per la gestione delle guide audio/video.

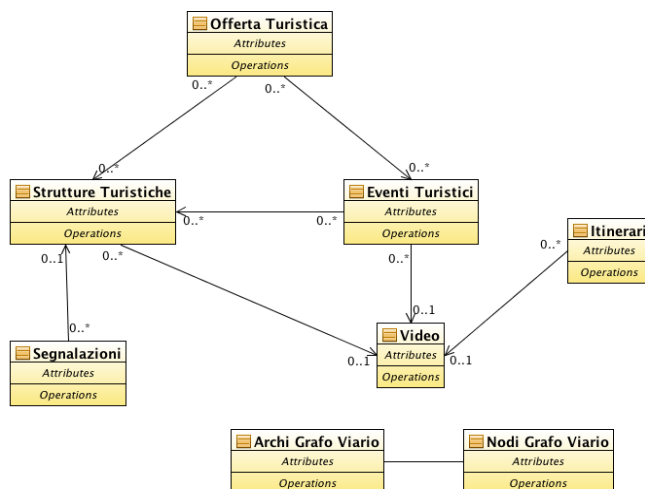


Figura 1 – Diagramma delle entità e relazioni gestite dal sistema.

### Acquisizione dati

L'acquisizione dei dati è stata suddivisa in quattro fasi: 1- Censimento, per la catalogazione dell'informazione pre-esistente e le modalità di gestione; 2- Armonizzazione, per la definizione di un modello dei dati condiviso; 3- Implementazione, definizione della struttura del database per la raccolta iniziale dei dati; 4- Popolamento, caricamento dei dati nel database in modalità automatica o tramite gli strumenti del CMS. Al momento l'acquisizione dei dati è nella quarta ed ultima fase. Nella fase di Censimento sono state rilevate tre modalità differenti di gestione dei dati riferibili alle entità del sistema “Struttura Turistica” e “Evento Turistico”:

1. gestione tramite DBMS con modello dei dati definito in base al CMS del sito web locale del turismo (Bastia);
2. gestione tramite DBMS e creazione fuori linea delle pagine informative nel sito web locale del turismo (Porto Venere);
3. gestione tramite file di dati disomogenei e creazione fuori linea delle pagine informative nel sito web locale del turismo (Palau e Forte dei Marmi).

Ad eccezione di Porto Venere i dati erano privi di informazioni geografiche o ancora in via di acquisizione. Le informazioni riferibili all'entità del sistema “Grafo Viario” non erano utilizzate se non per elaborazioni fuori linea, ad esempio nella creazione di carte turistiche.

Le informazioni puntuali, areali e lineari che identificano spazialmente le entità “Struttura Turistica” sono state acquisite nel sistema WGS84 (<http://it.wikipedia.org/wiki/WGS84>) o in alcuni casi come ad esempio per il comune di Porto Venere, sono state ricavate dal posizionamento dei numeri civici nel sistema Gauss-Boaga Roma40 ([http://it.wikipedia.org/wiki/Proiezione di Gauss-Boaga](http://it.wikipedia.org/wiki/Proiezione_di_Gauss-Boaga)) opportunamente trasformate in WGS84.

La parte sulla mobilità è stata ottenuta per i territori italiani da dati nel sistema di riferimento Gauss-Boaga Roma40 e trasformati nel Sistema di riferimento WGS84. Nel caso della Corsica, l'Agglomerato di Bastia non potrà rendere disponibili queste informazioni e quindi tale territorio non potrà usufruire delle funzionalità del DSS.

Non meno importante è stata la scelta dello strato informativo di contesto o mappa di base su cui sovrapporre le informazioni di volta in volta selezionate. Si è valutata l'opportunità di utilizzare dati a disposizione dei comuni o di enti sovracomunali, ma per semplicità e per la frequente assenza di tali dati, si è optato per il servizio *web on-line* di Google Map (<http://maps.google.it/>).

### **Gestione del dato nel Sistema Tourrenia**

Per semplificare le procedure di gestione del dato sono stati pubblicati quattro CMS, uno per ciascun territorio, aventi stessa veste grafica e funzionalità ma differenti contenuti suddivisi su base territoriale. I dati del sistema relativi ad un singolo territorio sono gestiti sotto responsabilità del comune cui appartengono. Tale soluzione, vista l'assenza nel partenariato di progetto di entità sovracomunali che li rappresenti tutti, conferisce al sistema la necessaria flessibilità.

I CMS identificano un'unità logica definita "Nodo", una per ogni territorio, dotata delle funzionalità di gestione dei dati. Vi sarà quindi un amministratore dei contenuti per ciascun territorio.

Tali unità logiche possono essere indipendenti ed accessibili separatamente ma non sono il punto principale di accesso al sistema che è rappresentato dal "Portale", implementato anche questo con un CMS.

Il "Portale" gestisce unicamente i dati con carattere transfrontaliero, ad esempio le offerte turistiche, ed i riferimenti alle unità "Nodo", permettendo ai turisti la navigazione dei contenuti senza renderne evidente la separazione logica. Nel caso in futuro si voglia aggiungere un "Nodo" alla rete, le operazioni da eseguire sul "Portale" comporteranno il solo inserimento del riferimento al nuovo "Nodo".

L'accesso ai dati del "Portale" e del "Nodo" può avvenire secondo due modalità: 1- tramite CMS, i dati sono fruiti dalle pagine del CMS stesso; 2- tramite Web-Gis, i dati sono richiesti ad un Web Map Service opportunamente collegato ai dati del CMS. Non saranno posti vincoli sull'accesso dell'informazione, peraltro pubblica e di promozione.

### **Implementazione**

L'implementazione del sistema si basa su *software open source*, nello specifico:

- ▲ il CMS è basato sulla piattaforma *web jAPS Entando 2.2.0* (<http://www.japsportal.com>), con l'aggiunta di un plug-in, progettato ed implementato dal CRS4, per il trattamento dell'informazione geografica. Il plug-in, riusabile in altri contesti è di prossima pubblicazione su *sourceforge* (<http://sourceforge.net/>);
- ▲ il Web-Gis è basato su *Geoserver* (<http://geoserver.org/>), implementazione delle specifiche OGC (<http://www.opengeospatial.org/>) per i *Web Gis Services*
- ▲ il DBMS è *PostgreSQL* (<http://www.postgresql.org/>) con l'aggiunta delle funzionalità GIS attraverso il modulo *PostGis* (<http://postgis.refractory.net/>). Il DBMS gestisce i database del CMS e le tabelle contenenti i layer pubblicati sul Geoserver

Sono inoltre ampiamente utilizzate le librerie *javascript* di *OpenLayers* (<http://openlayers.org/>) e *Google Map* per la gestione e la visualizzazione delle mappe su browser.

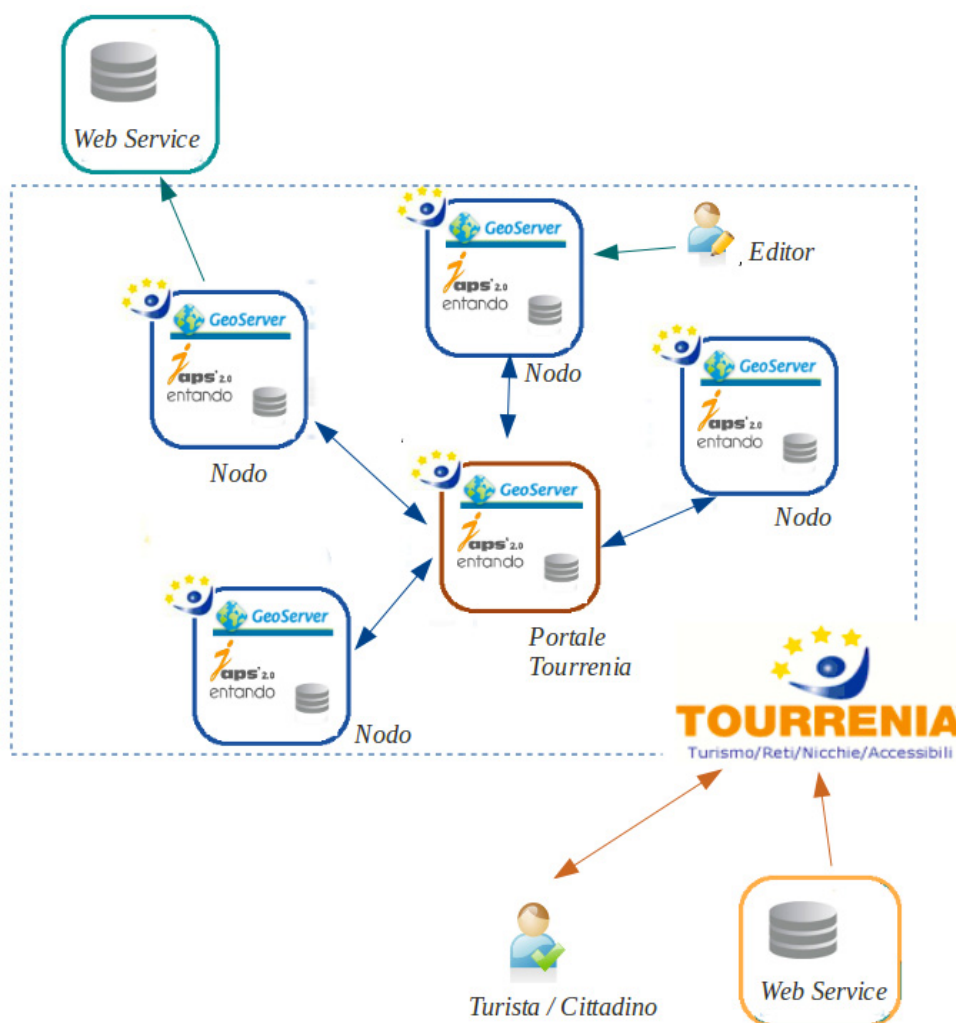


Figura 2 – Il sistema TOURENIA.

Tramite le funzionalità del CMS della piattaforma *jAPS Entando* è possibile editare, validare, visualizzare singoli contenuti o loro liste anche con l'ausilio di mappe. I contenuti del CMS sono le entità del sistema quali ad esempio la "Struttura Turistica". E' possibile inoltre eseguire ricerche su attributi testuali o spaziali tramite le mappe.

Tramite il DBMS PostgreSQL è possibile gestire i dati di base e derivarne di nuovi tramite funzioni definite per il DSS, costituendo dei layer tramite viste sui dati.

Tramite il *Web-Gis Geoserver* è possibile pubblicare i layer definiti nel DBMS fornendogli una opportuna vestizione o stile di rappresentazione e relativa legenda.

Infine tramite le librerie *OpenLayers* e *Google Map* è possibile visualizzare e configurare le mappe sul browser dell'utente del sistema.

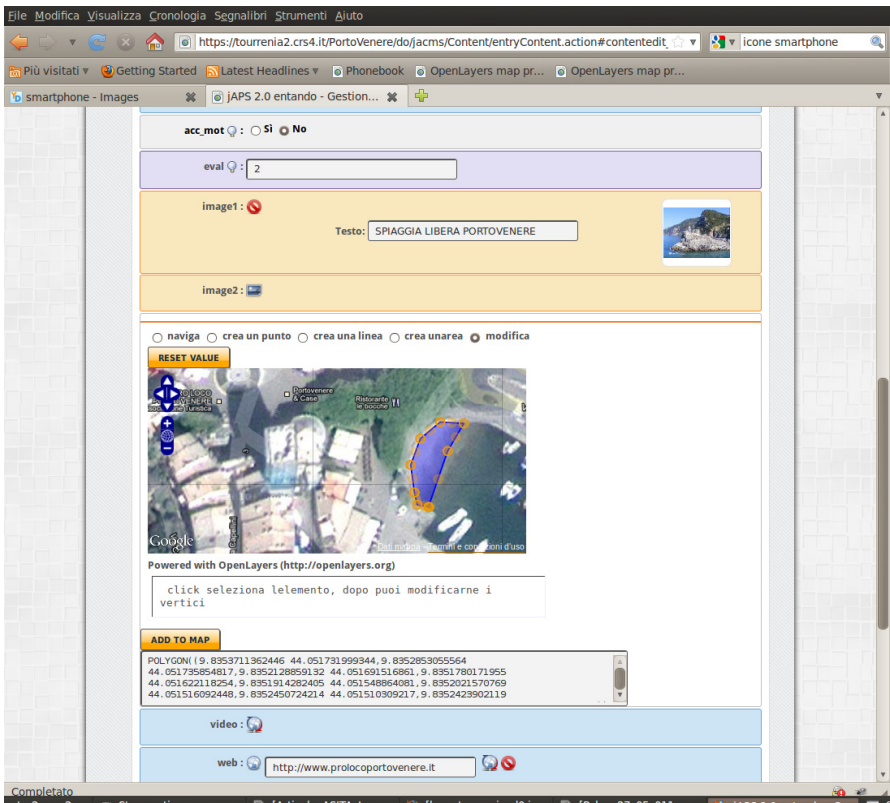


*Figura 3 – Georeferenziazione di una risorsa turistica.*

## Accessibilità

L'accessibilità è una delle principali caratteristiche del progetto sia come dato, cioè accessibilità del territorio, che come caratteristiche degli strumenti web utilizzati per la loro pubblicazione, ovvero accessibilità all'informazione

L'accessibilità del territorio è riferita principalmente a quella motoria ed è contenuta nei dati che descrivono la "Struttura Turistica", il "Grafo Viario" e l'entità "Segnalazione".

Per quanto riguarda l'entità “Struttura Turistica” si è rilevata, in fase di censimento, una scarsa presenza del dato, si è quindi optato per un indicatore costituito da una semplice variabile booleana, integrata, dove possibile, nella parte descrittiva testuale dell'entità.

Le informazioni sulla mobilità presenti nel “Grafo Viario” sono: presenza di ostacoli; tipo di fondo stradale; pendenza media.

L'entità “Segnalazione” contiene un campo che indica la presenza/assenza di accessibilità riferito ad un luogo o ad una struttura, tale valore può essere integrato tramite testo.

L'accessibilità all'informazione è riferita alla fruizione delle informazioni tramite il CMS. La legge di riferimento è la legge Stanca (<http://www.parlamento.it/parlam/leggi/040041.htm>), ma vi sono alcune limitazioni nella visualizzazione delle mappe che utilizzano la tecnologia javascript.

## DSS e GIS Partecipativo

Da diversi anni è in continua espansione, principalmente per i nuovi strumenti ICT immessi sul mercato, la ricerca e l'implementazione di applicazioni web che coinvolgono il cittadino comune nella produzione di contenuti GIS utili ad un DSS (Rinner, 2003) (Borouhaki et al., 2010).

Tale pratica ha due inconvenienti:

- ⤴ la qualità del dato dipende dalle competenze GIS di chi lo costruisce, ad esempio come componente geografica ci si può attendere prevalentemente un punto, qualche volta una linea e raramente un'area.
- ⤴ il dato collegato alla componente geografica è generalmente soggettivo, ad esempio definire la qualità e l'accessibilità di una struttura dipende dal *background* conoscitivo di chi crea il dato

Se comunque si prevede una mediazione tra una segnalazione di un utente ed il contesto ambientale della stessa, ovvero se si prevede che questa venga valutata da un tecnico si può ritenere un'informazione utile alla gestione del territorio. Le entità “Segnalazioni” hanno questo ruolo, vengono inserite da turisti/cittadini, valutate da tecnici e quindi rese disponibili alla pubblicazione e/o utilizzate come indicatori per le funzioni del DSS.

Il DSS ancora in fase di implementazione permette, a partire dalle entità “Segnalazione”, “Strutture Turistiche” e “Grafo Viario”, la creazione di strati informativi tramite l'applicazione di funzioni del modulo PostGIS di PostgreSQL.

Gli strati informativi per ora individuati permettono la visualizzazione di:

- ⤴ caratteristiche di accessibilità del territorio tramite aree ricavate dagli indicatori nelle entità “Struttura Turistica”, “Grafo Viario” e “Segnalazione”.
- ⤴ caratteristiche di ospitalità del territorio tramite aree ricavate dagli indicatori di qualità nelle entità “Struttura Turistica” e “Segnalazione”.
- ⤴ indicazioni tramite punti di siti interessanti non pubblicati, ottenute dalle entità “Segnalazione”.
- ⤴ distribuzione spaziale, tramite aree, delle entità “Segnalazione”

Tutte le informazioni del DSS sono consultabili solo dai decisori e dai validatori di contenuti. Al momento non è prevista una validazione per la pubblicazione con accesso libero delle entità “Segnalazione”; tali dati potrebbero comunque essere disponibili *on-line* nella versione finale del sistema.

### **Mobile**

La parte finale di implementazione del sistema consisterà nella creazione delle pagine del portale per una loro fruizione tramite *mobile device*. Nel particolare verranno adattate le pagine per la visualizzazione di singole entità o liste del tipo “Struttura Turistica”, “Evento turistico”, “Notizia” e “Video”. Sarà inoltre presente l'interfaccia per l'immissione di una entità “Segnalazione” e la possibilità di utilizzare, se presente, il rilevatore GPS.

La soluzione di utilizzare un approccio *web-based*, cioè basato sul browser del dispositivo è legata, oltre che alla semplificazione dell'implementazione, alla necessità di garantire l'accesso al maggior numero possibile di dispositivi.

### **Conclusioni e sviluppi futuri**

Il governo del territorio in un'ottica di turismo sostenibile non può prescindere dalla gestione dei dati ad esso riferiti. Allo stesso modo la partecipazione del cittadino turista e dell'operatore turistico nella gestione del territorio non può che giovare alle scelte degli amministratori pubblici. Con la presente nota si è voluto descrivere il sistema Tourrenia, in via di implementazione, ma anche proporre una modalità di trattamento dell'informazione turistica.

Tale soluzione è chiaramente suscettibile di ampliamenti ed evoluzioni soprattutto nella misura in cui si migliora e si rende disponibile l'informazione turistica. A tal proposito possono essere d'aiuto

gli organismi sovracomunali, che in taluni territori già operano abbassando principalmente i costi di gestione del dato per i singoli comuni ma che, per le caratteristiche trasfrontaliere del progetto e le complessità derivanti, sono state interessate solo marginalmente nella creazione fuori linea dei dati di base.

I punti di forza della soluzione adottata per l'implementazione del sistema Tourrenia si ritiene siano la flessibilità, l'accessibilità e la collaborazione. In particolare la flessibilità è garantita dalla separazione logica dei dati. E' possibile aggiungere al sistema un nuovo territorio con la propria politica di gestione dei dati senza dover eseguire alcuna modifica sulle altre entità "Nodo".

L'ultimo anno di attività del progetto prevede la realizzazione finale del sistema Tourrenia con la sua implementazione su dispositivi mobili, il completamento di tutte le funzionalità del DSS e la fase di test.

### **Bibliografia**

Rinner C. (2003), "Web-based Spatial Decision Support: Status and Research Directions" *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*, 7(1): 14-31

Borouhaki, Malczewski (2010), "ParticipatoryGIS : A Web-based Collaborative GIS and Multicriteria Decision Analysis", *Urisa Journal*, 22(1): 23-32



## **Realizzazione di un sistema fotogrammetrico automatico per lo studio della dinamica evolutiva di un ghiacciaio pensile**

Fabrizio Diotri (\*), Riccardo Roncella (\*\*), Claudio Lucianaz (\*), Gianfranco Forlani (\*\*),  
Marco Vagliasindi (\*), Elena Motta (\*)

(\*) Fondazione Montagna sicura, Loc. Villard de La Palud 1, 11013 Courmayeur (AO)

Tel. 0165.897602, e-mail [fdiotri@fodnms.org](mailto:fdiotri@fodnms.org)

(\*\*) DICaTeA Università di Parma Viale G.P. Usberti 181/a 43124 Parma

Tel. 0521 90592634, e-mail [riccardo.roncella@unipr.it](mailto:riccardo.roncella@unipr.it)

### **Riassunto**

I rischi ambientali in ambito glaciale hanno suscitato, negli ultimi anni, un notevole interesse mediatico e scientifico. Il ghiacciaio delle Grandes Jorasses (Courmayeur (AO)) è oggetto di studio da diversi anni poiché presenta una particolare criticità legata alla zona altamente frequentata sulla quale incombe. Tale ghiacciaio viene definito "pensile" per la sua collocazione su un pendio di roccia sul quale, per via della gravità tende a scivolare fratturandosi. Le fratture che si formano isolano porzioni di ghiaccio che, a seconda delle dimensioni, crollando potrebbero compromettere la sicurezza del fondovalle. Per tale ragione, si è deciso di realizzare un sistema fotogrammetrico automatico, per stimare la variazione della geometria del ghiacciaio, gli eventuali volumi potenzialmente instabili, e quindi approfondire la conoscenza sulla dinamica evolutiva dell'apparato. Il sito da monitorare presenta una serie di difficoltà non comuni: l'utilizzo di metodi di correlazione di immagine per la ricostruzione automatica del DSM richiede particolare cura per le condizioni radiometriche della superficie (prevalentemente innevata); la calibrazione del sistema ottico deve essere eseguita con grande attenzione così come devono essere valutati ed eventualmente tenuti in considerazione gli effetti sui parametri di orientamento interno e di distorsione degli effetti termici cui è sottoposta la camera (escursioni giornaliere anche di  $40\div 50^\circ$ ).

### **Abstract**

In the last years, a great concern is arising about natural risks in glacial environment. Grandes Jorasses glacier (Courmayeur – Aosta Valley – IT) is studied from several years as a critical case, as its dynamics may involve a highly frequented touristic area. Grandes Jorasses is defined as a hanging glaciers, as it lies on a steep rock slope on which it slides because of gravity. Sliding causes cracking of ice and fracturing into blocks and consequent icefalls. Should a large volume of ice be involved, or an avalanche triggered from the slope below the glacier, icefalls may reach the valley floor, so threatening people safety and buildings. In order to estimate geometrical variations and evaluate potential unstable volume, thus achieving a better knowledge of serac dynamic, an automatic photogrammetric system has been designed. Several troubles due to environmental conditions of this site have to be solved. First, because of the radiometric conditions of the surface, which is mostly snow-covered, image correlation methods used for DSM model reconstruction must be carefully evaluated, as well as the optical system calibration. Then, thermic influence on internal orientation and distortion, due to the wide temperature range (even  $40 - 50^\circ\text{C}$ ) to which the camera is subjected, must be taken into account.

## Introduzione

Il ghiacciaio sospeso delle Grandes Jorasses è situato lungo il versante sud delle Grandes Jorasses (Comune di Courmayeur, Valle d'Aosta, Italia) ad una quota compresa tra i 4.100 ed i 4.300 m s.l.m. ed insiste direttamente sul fondovalle della Val Ferret. Il ghiacciaio è caratterizzato da un evidente seracco (seracco Whympfer) dal quale si verificano periodici crolli di ghiaccio. A seconda del volume, i crolli sono potenzialmente in grado di raggiungere il fondovalle o, in presenza di manto nevoso sul pendio sottostante, di innescare valanghe di proporzioni rilevanti. (Margreth et al., 2010) Tali fenomeni sono in grado di creare importanti rischi per il fondovalle, che costituisce una zona a forte vocazione turistica e ricca di edifici ed infrastrutture.

Il ghiaccio poggia su di una superficie rocciosa inclinata di circa 35° che si raccorda con la valle sottostante; il dislivello tra il ghiacciaio ed il fondovalle è di circa 2.600 m s.l.m. A causa della geometria e della quota, la massa di ghiaccio che si forma per continuo accumulo e trasformazione della neve di precipitazione comporta necessariamente periodici crolli, che sono quindi da considerare un fenomeno naturale. Questo tipo di ghiacciaio, sulla base delle più recenti convenzioni glaciologiche, viene definito *unbalanced ramp avalanching glaciers* (ghiacciaio sospeso non bilanciato) ed il suo meccanismo di fratturazione *slab fracture* (movimento traslazionale di una placca lungo una superficie, Pralong e Funk, 2006).

La dinamica di questo tipo di ghiacciai è fortemente influenzata dalla geometria e dalle condizioni di densità e di temperatura dell'apparato glaciale. La continua variazione della morfologia del ghiacciaio, dovuta all'apertura di fessure ed al conseguente crollo di porzioni più o meno importanti dello stesso, è caratterizzata da un progressivo aumento della velocità di spostamento e dell'attività microsismica delle porzioni di ghiaccio instabili (Pralong e Funk, 2006). La misura delle velocità di spostamento tramite sistemi topografici costituisce attualmente il sistema più utilizzato per il monitoraggio e la previsione dei potenziali crolli.

A causa del potenziale rischio per il fondovalle, il ghiacciaio è oggetto di interventi di monitoraggio finalizzati alla protezione civile. Un primo intervento di monitoraggio fu realizzato tra il 1994 e il 1998 da parte del Prof. Martin Funk dell'ETH di Zurigo, su incarico della Regione Autonoma Valle d'Aosta, e permise di prevedere due crolli verificatisi tra il gennaio 1997 e il giugno 1998 (Margreth e Funk, 1999). Un intervento di monitoraggio è attualmente in corso, a partire dal gennaio 2009, da parte della Fondazione Montagna sicura su incarico della Regione Autonoma Valle d'Aosta, con la consulenza scientifica del prof. Martin Funk. Il sistema di monitoraggio si basa su misure di tipo topografico di prismi installati sulla superficie del seracco, eseguite da una stazione totale robotizzata, ed è finalizzato all'attività di protezione civile.

Parallelamente, nell'ambito del progetto *GlaRiskAlp* (**progetto semplice inserito del Programma Operativo "Alcotra"**, piano di cooperazione territoriale nell'area delle Alpi Latine, finanziato dalla Commissione Europea attraverso il FESR) Fondazione Montagna sicura quindi ha avviato una serie di azioni di studio volte ad approfondire la conoscenza del seracco e della sua dinamica mediante l'applicazione di tecniche innovative, nonché a sviluppare tecniche in grado di integrare le misure topografiche tradizionali. Tali attività comprendono un sistema di monitoraggio topografico sperimentale tramite una rete di ricevitori GPS, un sistema sperimentale di misura dell'attività sismica, misure termiche della roccia (a cura di ARPA Valle D'Aosta), rilievi fotogrammetrici da elicottero ed un sistema di fotogrammetria fissa oggetto del presente articolo.

I rilievi fotogrammetrici vengono attualmente eseguiti in caso di necessità in modalità *close-range* speditiva facendo uso dell'elicottero, dal quale è possibile riprendere il ghiacciaio da un punto di vista ottimale, e sono utilizzati per il calcolo dei volumi di ghiaccio potenzialmente instabili o crollati. La frequenza di acquisizione delle immagini ed il conseguente calcolo del modello tridimensionale non permettono, ad oggi, di seguire in continuo gli spostamenti e le evoluzioni morfologiche dell'apparato. Il lavoro presentato in questo articolo si propone di colmare tale lacuna realizzando un sistema fotogrammetrico autonomo in tutte le fasi, dall'acquisizione delle immagini, alla restituzione dei modelli tridimensionali dell'oggetto.



*Figura 1 – Vista panoramica del ghiacciaio pensile delle Grandes Jorasses. In evidenza, nella parte centrale del fotogramma, la crepa formatasi nella primavera del 2008. (Autore: F. Diotri).*

## **Il sistema di acquisizione**

### *Premessa*

La fotogrammetria terrestre in modalità *close-range* si è dimostrata l'unica tecnica in grado di fornire, con continuità e con costi ridotti, dati geometrici utili alla conoscenza delle dinamiche del seracco in esame. L'utilizzo dell'elicottero per la realizzazione delle immagini permette di ottenere punti di vista ottimali su tutto il seracco, sacrificando, tuttavia, le precisioni ottenibili. Attualmente i rilievi da elicottero hanno precisioni che sono nell'ordine dei 40 cm. Tali precisioni sono da intendersi assolute (discordanza fra le coordinate misurate e quelle reali di punti appartenenti alla superficie del seracco, espresse in un sistema di riferimento globale) e non relative, ovvero inerenti la posizione reciproca di punti appartenenti al corpo nevoso. Ciò non toglie che, pur essendo tali precisioni sicuramente più elevate (dell'ordine di qualche centimetro), il realizzare blocchi fotogrammetrici da punti di vista differenti, con condizioni geometriche variabili di volta in volta in condizioni spesso svantaggiate (l'appoggio del blocco e reso difficoltoso dalla scarsa presenza nella scena di punti che possano ritenersi fissi e che non vengano coperti dalla neve nel corso delle stagioni, l'individuazione di punti di legame è resa ardua dalle caratteristiche superficiali della neve che non presenta elementi ben distinguibili) rende poco accurato il confronto fra modelli di superficie acquisiti in epoche differenti. Gli spostamenti del seracco vanno da 2 cm/giorno, in condizioni di normale dinamica, fino a 20 cm/giorno in condizioni di criticità. Con questi valori di spostamento, le attuali applicazioni fotogrammetriche non possono essere utilizzate per evidenziare eventuali anomalie negli spostamenti e quindi allertare gli organi competenti. Inoltre i costi e le difficoltà operative connessi ad una periodica e frequente acquisizione di immagini del seracco tramite elicottero rendono poco praticabile questa soluzione. Da queste considerazioni nasce l'idea di realizzare una postazione fotogrammetrica fissa, in prossimità della falesia di ghiaccio, in grado di raggiungere una precisione di rilievo che sia sufficiente per discriminare gli spostamenti in fase di criticità e di monitorare tali spostamenti con un'elevata frequenza temporale.

### *Requisiti*

Le fasi del processo fotogrammetrico sono le seguenti: realizzazione della coppia stereoscopica di immagini, trasferimento della coppia ai server di calcolo, restituzione modello tridimensionale.

Il punto di arrivo, allo stadio attuale, è la produzione di modelli tridimensionali del ghiacciaio orientati in un sistema di riferimento locale. Come sviluppo futuro si vuole arrivare ad automatizzare anche l'analisi multitemporale dei vari modelli per riconoscere eventuali criticità evolutive dell'apparato quali, ad esempio, accelerazioni anomale.

Come prima attività sono stati identificati i requisiti che avrebbe dovuto avere l'*hardware* per l'acquisizione delle immagini stereoscopiche. Il sito di installazione, posto ad una quota media di 4.100 m s.l.m., impone un'attenta valutazione di tutti gli aspetti progettuali e realizzativi.

I requisiti minimi che deve avere il sistema sono i seguenti:

- resistenza a condizioni ambientali estreme: temperature variabili tra i -30°C e i +20°C, venti forti con trasporto di aerosol formato da neve/ghiaccio, temporaneo accumulo nevoso sulle strutture, etc..;
- bassissimo consumo energetico: l'installazione di un pannello solare di grandi dimensioni crea problematiche nelle situazioni di vento forte (effetto vela);
- flessibilità nelle scelte dell'*hardware* di acquisizione: corpo macchina e ottiche;
- flessibilità nel controllo remoto del sistema;
- leggerezza e portabilità: installazione del sistema in zone raggiungibili solamente effettuando passaggi alpinistici.

Sono state valutate, *in primis*, eventuali soluzioni commerciali pronte all'uso con scarsi risultati. Sono state individuate alcune *webcam* particolarmente performanti ma con evidenti limiti di configurabilità fotografica e consumi energetici. Non ultimo, tutte le soluzioni erano limitate dalla presenza di codice informatico chiuso e non modificabile.

Si è quindi optato per l'ingegnerizzazione di un sistema che rispondesse a tutti i requisiti necessari utilizzando un corpo macchina reflex ad ottica intercambiabile e una scheda programmabile per il controllo della camera e per l'invio dei dati.

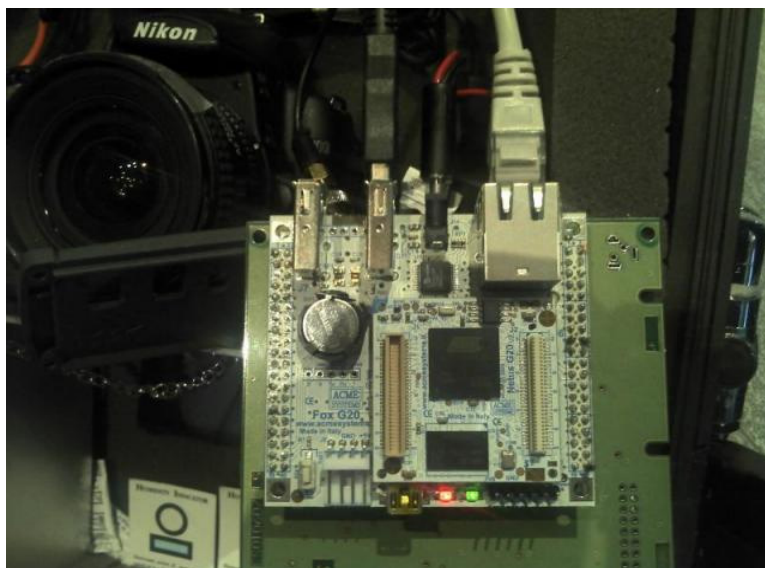


Figura 2 – In primo piano la scheda programmabile per il controllo del corpo macchina e del modem per l'invio dei dati sui server di calcolo.

### *Sistema di ancoraggio*

La scelta dei due siti di installazione (vedi paragrafi successivi) è stata fortemente vincolata dalla morfologia del terreno costituito da una cresta di roccia. Per questo motivo si è dovuto realizzare un supporto che fosse nel contempo leggero, sufficientemente robusto e dotato di un particolare snodo per consentire al corpo macchina di orientarsi in modo tale da inquadrare correttamente il ghiacciaio. Si è scelto quindi un supporto tubolare in acciaio zincato realizzato in modo tale da alloggiare sia il pannello, sia il box stagno per la protezione del corpo macchina.

### *Sistema di alimentazione*

Sono stati eseguiti dei test per verificare il consumo del sistema composto dal corpo macchina, dalla scheda programmabile e dal modem. Sono state installate tre batterie stagne da 17Ah e 12V (ogni batteria), in modo tale da garantire un'autonomia di funzionamento di 48 ore in assenza totale di irraggiamento solare. Le batterie sono ricaricate da un pannello fotovoltaico da 20W a 12V, compatto e leggero. Tale tipologia di pannello era stata utilizzata in precedenti installazioni ed è risultata un buon compromesso tra potenza resa, praticità di installazione e resistenza all'effetto vela di cui si è fatto cenno sopra.

### *Box per l'alloggiamento della strumentazione*

Sono stati scelti i box stagni prodotti dalla Peli. Tali contenitori sono certificati IP67 (stagni), sono molto leggeri e maneggevoli (dotati di ampia maniglia per il trasporto) ed estremamente resistenti. Inoltre sono disponibili in varie misure e forme. Il box è stato dotato di una valvola per poter realizzare il vuoto al suo interno. Le basse temperature alle quali viene sottoposto il sistema potrebbero causare la formazione di condensa all'interno del box con conseguente appannamento dell'ottica e inutilizzabilità del fotogramma. Oltre alla realizzazione del vuoto nel box, sono stati anche utilizzati dei composti in gel per prevenire ulteriormente la formazione di condensa.

### *Il micro-computer*

Tutto il sistema si basa su questo *micro-computer*: il controllo remoto dello scatto, la memorizzazione, una prima elaborazione e la trasmissione delle immagini ai server di calcolo. La necessità di avere una piattaforma di sviluppo estremamente flessibile e operativa ha imposto la scelta di un sistema operativo con *kernel* Linux. In particolare la scheda programmabile ospita una Debian 6.0 "*Squeeze*". Questo sistema operativo è equivalente a quelli installati su server più performanti e quindi può contare su una grandissima quantità di software *open-source* disponibile. In particolare sono stati utilizzati i seguenti programmi per gestire le varie operazioni:

- *libphoto*: librerie per l'interfaccia della scheda con il corpo macchina; queste librerie permettono di controllare qualsiasi aspetto delle operazioni di presa fotografica, dalla scelta della coppia tempo/diaframma, al bilanciamento del bianco, alla scelta del modo in cui l'esposimetro legge l'intensità della luce etc.;
- *ImageMagick*: librerie per l'*editing* avanzato delle immagini; per poter ridurre al minimo i dati da trasferire ai server di calcolo, si è scelto di utilizzare solamente la banda del blu e di comprimere le immagini nel formato *jpg* in modo da avere *files* dell'ordine di 1MB;
- *lftp*: *client* avanzato per la gestione dei trasferimenti dei *files* sui server con il protocollo ftp;
- *cron*: programma per lo *scheduling* delle operazioni;

La scheda programmabile è connessa in seriale con un modem GSM per la trasmissione dei dati e per il controllo della stessa da postazioni remote. In particolare, da remoto tramite il protocollo *ssh*, si possono controllare tutti i parametri di presa, le frequenze di acquisizione e qualsiasi altro aspetto legato al sistema in modo tale da avere massima flessibilità del sistema. La scheda è collegata alla rete internet in continuo e sono stati sviluppati dei codici che si occupano di riconnettere in automatico la scheda nel caso in cui si perdesse il segnale GSM.

La scheda aggiorna, tramite connessione internet, ogni 15 minuti l'ora e la data del sistema. In questo modo le due camere scattano contemporaneamente le immagini della stereocoppia.



### *Il corpo macchina e le ottiche*

La scelta del corpo macchina è stata fortemente condizionata da diverse esigenze:

- la risoluzione geometrica del sensore: con le geometrie di presa individuate, e le precisioni volute (vedi paragrafi successivi), la camera doveva avere almeno una risoluzione di 12Mp;
- la possibilità di montare differenti tipi di ottiche fisse: l'ottica fissa si impone in ambito fotogrammetrico per la qualità dell'immagine prodotta; la possibilità di scegliere tra varie ottiche fisse permette di avere una certa flessibilità sulla geometria di presa, o viceversa permette di avere grande flessibilità in caso di geometria imposta (come nel nostro caso);
- la possibilità di connettere la camera ad un *computer* per il suo controllo remoto;
- la possibilità di avere un visore della camera orientabile e dotato di opzione *live-view* per la realizzazione dell'inquadratura corretta con corpo macchina solidale al box;
- la possibilità di alimentare la camera da sorgente elettrica esterna;
- la compatibilità della camera con le librerie *open-source* per il suo controllo remoto.

Il corpo macchina D5000 della Nikon soddisfa tutte le esigenze di cui sopra ad un prezzo accettabile. Su di esso è stata montata un'ottica Nikon AF 20 MM 2,8 D. Si è scelto un grandangolo così spinto poiché la D5000 presenta un sensore nel formato APS-C con un fattore di *cropping* pari a 1,6x. Tale fattore riduce l'angolo di campo del 20 mm installato, rendendolo equivalente a quello di un 32 mm. Con questa lunghezza focale si riesce ad inquadrare completamente la zona di interesse dai due punti scelti per le installazioni.



*Figura 3 – Immagine raffigurante il primo sistema di acquisizione realizzato.*

### **La scelta della geometria di presa**

Le riprese fotogrammetriche sono finalizzate ad ottenere un modello digitale complessivo del seracco e del terreno avente spaziatura media tra i punti di circa 20 cm, con precisione stimata in circa 5÷10 cm.

La prima considerazione pratica riguarda l'individuazione dei siti di potenziale installazione: da un punto di vista logistico ne sono stati individuati due da personale FMS (vedi figura 4). Il sito individuato con le marche rosse sarebbe un punto di presa ideale per la prospettiva frontale rispetto alla fronte del seracco. Tuttavia la distanza tra le camere e l'oggetto da rilevare sarebbe troppo

elevata per poter raggiungere le precisioni di progetto. Inoltre la base di presa fra i due fotogrammi risulta troppo corta e difficilmente si è in grado di assicurare una sufficiente precisione; infine, in questa configurazione gli spostamenti del seracco avvengono prevalentemente lungo la direzione individuata dall'asse ottico delle camere ovvero proprio lungo la direzione in cui è lecito aspettarsi gli errori di misura maggiori. Di contro da questo punto di scatto sarebbe possibile ottenere una scala fotogramma all'incirca uniforme su tutto il fronte del seracco, garantendo un'uniformità di precisioni di tutti i punti monitorati; in più la visuale frontale permetterebbe una ricostruzione sicuramente più completa e uniforme anche dal punto di vista delle risoluzioni sull'oggetto.

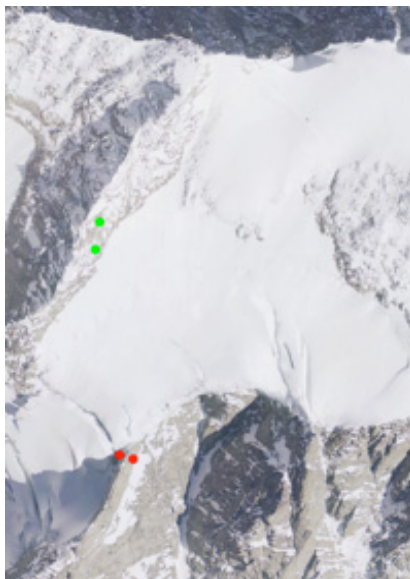


*Figura 4 – Individuazione delle possibili posizioni di presa del sistema di monitoraggio del seracco.*

Nonostante i vantaggi dal punto di vista della ricostruzione appena illustrati la posizione appena analizzata non garantisce il soddisfacimento delle specifiche di precisione e si è quindi optato per un sito più prossimo alla falesia, ammettendo un punto di vista più scorciato e quindi una scala fotogramma molto meno uniforme: le condizioni di installazione non lasciano molto margine di scelta.

Dal sito scelto si è calcolata la massima distanza dall'oggetto, 220 m, sulla quale verranno effettuati tutti i calcoli di progetto (vedi figura 5).

L'assetto delle camere sarà molto probabilmente lievemente convergente per garantire il massimo ricoprimento fra i fotogrammi. Visti tuttavia gli angoli di convergenza contenuti per la valutazione della precisione ci si può rifare alla propagazione della varianza nel caso normale di stereorestituzione. Considerata una distanza dall'oggetto pari a 220 m, una distanza principale (assimilabile in prima approssimazione alla lunghezza focale delle ottiche utilizzate), pari a 20 mm, una base di presa pari a 60 m, una precisione di misura delle coordinate immagine prudenzialmente pari a 0.35 pixel, l'errore lungo la direzione dell'asse ottico della camera risulta pari a circa 8 cm, mentre nelle due direzioni ortogonali a quest'ultima (approssimativamente parallele alla direzione della verticale e alla direzione di scivolamento del seracco) l'errore, più contenuto, risulta pari a poco più di 2 cm.



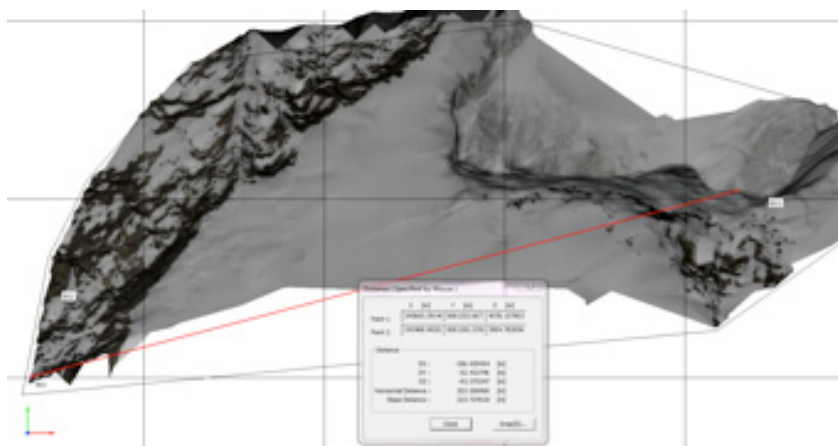


*Figura 5 –Misura delle distanze di presa dalle posizioni di acquisizione ritenute più indicate per l'installazione del sistema di monitoraggio.*

Bisogna tuttavia sottolineare che le formule utilizzate partono dall'ipotesi di disporre di parametri di orientamento interno (la distanza principale in particolare) ed esterno noti ed esatti. L'influenza che una variazione di tali parametri non considerata nella fase di restituzione può avere sul risultato metrico finale un impatto decisivo: tali variazioni, che potrebbero essere dovute ad una molteplicità di cause (variazioni di temperatura, spostamenti della scatola di acquisizione per effetto del vento o del carico-neve, etc.) possono pregiudicare completamente il buon esito del processo.

In questo specifico caso non solo bisogna prevedere una naturale incertezza sui parametri di orientamento esterno ed interno che in maniera più o meno trascurabile possono influire sulla corretta determinazione delle coordinate cartografiche dei punti, ma diventa primario tenere in conto le variazioni che tali parametri possono subire fra un'acquisizione e l'altra: in tale frangente, infatti, si assisterebbe ad un movimento apparente del seracco (con buona probabilità prevalente in direzione dell'asse ottico delle camere) che potrebbero essere assolutamente non trascurabile.

#### *Stima dei parametri di orientamento interno*

Il primo elemento da definire con la massima accuratezza possibile durante la fase di realizzazione delle stazioni di acquisizione delle immagini riguarda i parametri di calibrazione e di orientamento interno delle camere fotogrammetriche utilizzate: trattandosi di camere semi-professionali digitali di fascia consumer, prevedere una calibrazione in laboratorio risulta non solo sconsigliabile ma addirittura impossibile. Al contrario una calibrazione analitica della camera sembra la soluzione più corretta e al tempo stesso compatibile con le esigenze di budget del progetto. In tal senso una comune procedura tramite cartellone di calibrazione può fornire risultati soddisfacenti, a patto che il numero delle prese effettuate sia elevato e la loro distribuzione spaziale permetta con buona garanzia di eliminare possibili accoppiamenti fra i parametri durante la fase di stima a minimi quadrati: qualora si generassero forti componenti di correlazione fra i parametri di orientamento interno (o fra quelli interni e quelli esterni) si potrebbe giungere a una stima finale dei parametri in cui i residui delle equazioni di collinearità risultino ottimali ma, almeno per i parametri accoppiati, il valore degli stessi risulti non corretto. Fintanto che, per la valutazione dei parametri di orientamento esterno, si utilizza di nuovo una stima a minimi quadrati il problema potrebbe essere trascurato poiché la stessa correlazione fra parametri porterebbe comunque ad una soluzione proiettivamente equivalente (almeno in prima approssimazione) in cui, sostanzialmente, le coordinate terreno dei punti risulterebbero corrette. Prevedendo difficoltà in questo caso a materializzare un set di punti d'appoggio soddisfacente per l'orientamento del blocco diventa

importante considerare attentamente questo aspetto: i parametri posizionali delle camere potrebbero essere determinati tramite opportune procedure topografiche o tramite la combinazione di informazioni topografiche e fotogrammetriche. In questo caso qualsiasi errore in termini di parametri di orientamento interno si rifletterebbero direttamente sulle coordinate terreno dei punti con risultati poco prevedibili e, soprattutto, difficilmente quantificabili. Come si diceva, dunque, la soluzione migliore, in considerazione anche delle risorse economiche a disposizione, risulta una calibrazione analitica tramite cartellone di calibrazione: è fondamentale che in tutte le posizioni di scatto, ben distribuite attorno al cartellone e con angoli di convergenza elevati, vengano acquisite almeno tre immagini ognuna ottenuta ruotando rispetto alla precedente la camera di 90° attorno all'asse ottico della stessa: come noto la procedura garantisce un buon disaccoppiamento dei parametri, in particolare di quelli legati alla posizione del punto principale rispetto agli altri. Infine tutte le procedure di calibrazione devono essere effettuate con la camera già fissata saldamente al suo box: il vetro protettivo antistante la camera rappresenta infatti un ulteriore elemento ottico che può provocare effetti di distorsione del percorso dei raggi di proiezione.

#### *Variazione dei parametri di orientamento interno e loro controllo*

Ipotizzando di utilizzare, nel corso delle periodiche restituzioni dei modelli del seracco, parametri di orientamento esterno costanti e determinati direttamente, qualsiasi cambiamento dei parametri di orientamento interno possono provocare errori di restituzione che, in certi casi, non possono essere considerati trascurabili. In particolare forti escursioni termiche possono comportare variazioni della distanza principale del sistema ottico: tali variazioni si riflettono direttamente sul calcolo delle coordinate terreno dei punti lungo la direzione dell'asse ottico. Prevedendo una distanza di circa 200 m dall'oggetto anche una variazione dello 0.05% (corrispondente quindi a circa 50 mm) introdurrebbe uno spostamento erroneo dei punti in questa direzione pari a 10 cm, ovviamente inaccettabile per le finalità del sistema. Anche in questo caso tuttavia bisogna considerare che lo scopo principale del sistema è quello di confrontare modelli digitali di superficie del seracco acquisiti ad intervalli regolari e piuttosto ravvicinati nel tempo, per cui il problema potrebbe essere molto più circoscritto di quanto non possa sembrare: il box è stato dotato di un rilevatore di temperatura con il quale è possibile cercare di effettuare gli scatti in modo che due fotogrammi consecutivi non vengano acquisiti in condizione di temperatura troppo differenti; in alternativa, inviando il dato di temperatura alla stazione di controllo si potrebbe decidere di non confrontare due epoche acquisite in condizioni climatiche troppo diverse. In tal senso, nei successivi sviluppi delle attività, si intende realizzare un set di prova che permetta di valutare fattivamente le variazioni dei parametri di orientamento interno in corrispondenza di modificazioni ambientali, onde determinare i limiti di operatività del sistema proprio in corrispondenza di cambiamenti meteorologici improvvisi.

#### *Stima dei parametri di orientamento esterno*

Per la determinazione delle coordinate terreno dei punti del seracco l'altro aspetto da tenere in particolare considerazione, e che nel caso in esame può presentare problemi tecnici non trascurabili, è la stima o il calcolo dei parametri di orientamento esterno di ciascuna delle stazioni di acquisizione: per come si presenta la configurazione di blocco e considerata l'area inquadrata dalle fotocamere risulta tecnicamente complesso prevedere di materializzare sull'oggetto una rete di punti d'appoggio ben distribuiti e soprattutto ben visibili per ottenere i parametri da una stima a stelle proiettive.

Si ricorda che lo scopo del sistema di monitoraggio non è comunque quello di definire la posizione del corpo nevoso quanto piuttosto metterne in luce la dinamica evolutiva nel corso del tempo: in altre parole la definizione del sistema di riferimento in una certa misura può godere di una certa arbitrarietà a patto di permettere comunque di determinare correttamente gli spostamenti e i mutamenti di forma dell'oggetto. In particolare risulta di interesse definire in maniera corretta prioritariamente la messa in scala del modello e in seconda istanza orientare correttamente il sistema di riferimento in modo che il suo asse Z corrisponda con la verticale locale.

Per quanto concerne i parametri traslazionali e l'orientamento rispetto al nord del modello essi possono essere ritenuti di secondaria importanza per gli scopi del sistema e determinati anche indirettamente tramite, ad esempio, allineamento con particolari naturali visibili sui fotogrammi e misurabili topograficamente.

Come anticipato, per determinare i due parametri rotazionali che definiscono la verticale è richiesta una precisione ottenibile tramite anche pochi punti d'appoggio, a patto che essi siano ben distribuiti spazialmente attorno al corpo nevoso che si intende monitorare.

Per quanto riguarda la base di presa essa può essere semplicemente ottenuta prevedendo un attacco da 5/8", per installare sulla sommità del box di protezione delle camere una basetta topografica cercando, se possibile, di centrare l'attacco approssimativamente sulla verticale del centro di proiezione della camera stessa: la basetta permette di installare, durante la messa in opera del box, un prisma topografico onde determinarne le coordinate con la maggior accuratezza possibile. Volendo, sulla basetta può essere applicata, in alternativa, un'antenna GPS per determinarne direttamente le coordinate geografiche/cartografiche; tuttavia, soprattutto a queste quote, la determinazione delle coordinate GPS è sicuramente meno accurata, anche nella definizione della base fra i due box, rispetto ad altre tecniche (teodolite). Pur ammettendo una certa incertezza nel centrare l'attacco in corrispondenza del centro di proiezione e pur non prevedendo di correggere le osservazioni tenendo in conto dell'eccentricità fra centro del prisma e centro principale (come invece è possibile fare, tramite una procedura di calibrazione del sistema di protezione), l'errore commissibile nel determinare la base di presa (cautelativamente 10÷20 cm) è del tutto trascurabile per quanto concerne la stima degli spostamenti: anche ammettendo una base di presa molto ridotta (10 m) l'errore sulla sua lunghezza ha un'influenza di appena l'1÷2% sulla misura degli spostamenti. Prevedendo spostamenti fra un'epoca e l'altra (ad un giorno di distanza l'una dall'altra) al massimo di 20÷30 cm l'errore introdotto dalla non corretta messa in scala del modello risulta dunque al massimo di 4÷6 mm, abbondantemente inferiori agli errori di misura previsti.

#### *Stima dei parametri di orientamento esterno*

In tutta analogia con i parametri di orientamento interno anche variazioni non modellate nella posizione reciproca o nell'assetto delle camere può introdurre spostamenti apparenti nel modello. Gli effetti dell'utilizzo di parametri di orientamento relativo non corretti nella produzione di un modello sono un tema decisamente di più facile trattazione e sicuramente molto più studiato in fotogrammetria rispetto al precedente (Kraus, 2007).

L'aspetto più preoccupante, ovvero una variazione significativa della base di presa, è in questo caso da escludere in quanto il box di protezione è ben vincolato al suolo. Tuttavia è possibile (e a nostro avviso anche probabile) che a seguito di varie sollecitazioni, come il carico neve sul box o la spinta dovuta al vento, possano verificarsi variazioni non trascurabili in termini di angoli di assetto.

Per mettere in evidenza possibili movimenti fra un'epoca e la successiva è stato messo a punto e implementato un algoritmo di orientamento relativo automatico. L'idea, sviluppata nelle attività di quest'anno, è che il sistema software di restituzione confronti automaticamente ciascuna delle due immagini ottenute ad una certa epoca con l'immagine acquisita nella posizione coniugata all'epoca precedente onde mettere in evidenza possibili movimenti: qualora tali movimenti superino una certa soglia, ritenuta non trascurabile per l'effetto che potrebbe avere sulla restituzione, i parametri di orientamento esterno vengono opportunamente modificati in ragione della soluzione di orientamento relativo stimata, al fine di ridurre (o addirittura eliminare) gli errori di restituzione stessi.

Il metodo di stima proposto da (Nister, 2004) per la matrice essenziale permette di determinare con grande affidabilità la geometria relativa fra due fotogrammi senza bisogno di disporre di parametri di orientamento approssimati. Inoltre, vista la natura lineare del calcolo, è possibile rendere la stima robusta, ad esempio utilizzando l'algoritmo RANSAC. In questo modo è facile rendere automatica la procedura che a partire da due fotogrammi ne determina i parametri di orientamento relativo.

## **Il sistema di restituzione**

Il sistema software di restituzione delle immagini è stato sviluppato secondo una struttura modulare utilizzando in parte codici di calcolo già sviluppati e in parte tramite nuove routine (in particolare per l'orientamento relativo automatico). Le fasi operative di elaborazione possono essere così riassunte:

1. Innanzitutto, tramite operatori di interesse si estraggono dai due fotogrammi un numero elevato di punti immagine ritenuti ben riconoscibili e possibilmente tracciabili nelle diverse epoche di acquisizione;
2. Tali punti vengono poi messi in correlazione gli uni con gli altri sfruttando vincoli di natura geometrica e radiometrica: al momento, per la sperimentazione iniziale, si sono sfruttate librerie di codice che si basano sull'operatore e sul descrittore SURF (Bay et al., 2008).
3. I punti vengono utilizzati in una procedura RANSAC per determinare la matrice essenziale e gli outlier (gli accoppiamenti sbagliati): al termine della procedura è possibile ricavare i parametri di orientamento relativo;
4. Per quanto visto precedentemente la base di presa difficilmente subisce variazioni apprezzabili, almeno dal punto di vista dell'influenza sul calcolo degli spostamenti: il sistema modello viene dunque riscalo in modo da riportare la base di presa alla sua vera grandezza; allo stesso modo si suppone fissa la stazione fotogrammetrica all'epoca precedente e il sistema di riferimento viene dunque ruotato in modo da riportarla opportunamente alla sua posizione;
5. Per ottenere maggiori informazioni statistiche sul processo di stima (in particolare per la valutazione delle precisioni di stima dei parametri di orientamento) si utilizzano i risultati ottenuti in un sistema di stima a minimi quadrati.
6. A questo punto si valuta lo spostamento (ovvero le variazioni) dei parametri di orientamento esterni intervenuto fra un'epoca e l'altra. Le variazioni vengono testate relativamente alla loro precisione per determinare se gli spostamenti siano significativi da un punto di vista statistico;
7. Qualora ciò avvenga viene generato un avviso (che potrà poi essere inviato via SMTP a un incaricato della sorveglianza del sistema) in cui viene sottolineata l'esistenza di un evento (lo spostamento di una o di entrambe le stazioni di acquisizione) potenzialmente pericolosa per la correttezza dei risultati;
8. Al tempo stesso i nuovi dati di orientamento vengono inviati al sistema di generazione del DSM per cercare di rimuovere possibili deformazioni indesiderate nella generazione del modello.

Il sistema di produzione del DSM è basato su codice proprietariamente sviluppato basato sulla correlazione di immagine a minimi quadrati (LSM (Gruen, 1984)) ed è in grado di raggiungere precisioni subpixel anche in presenza di elementi poco contrastati come nel caso della superficie nevosa del seracco.

## **Conclusioni**

Il rilievo fotogrammetrico per il monitoraggio del Seracco delle Grandes Jorasses rappresenta un'interessante sfida: le dimensioni dell'oggetto, la richiesta di avere una descrizione minuziosa della morfologia della parete, i tempi di intervento ed elaborazione hanno richiesto l'applicazione di metodologie di rilievo molto efficienti e accurate. L'impostazione della tecnica di rilievo ha privilegiato l'impiego di strumentazione standard a basso costo per le riprese fotogrammetriche ed un appoggio del blocco basato su misure topografiche ausiliarie.

Tuttavia esistono ancora alcune difficoltà da superare e perplessità che richiedono di essere risolte: le posizioni in cui installare le camere non sono del tutto soddisfacenti non permettendo una ottimale visione del fronte del seracco; se da un lato la geometria di presa, in questo modo, favorisce la misura degli spostamenti in quanto la massima precisione si raggiunge proprio lungo la direzione di scivolamento del seracco, la restituzione dei punti risulta meno soddisfacente per il

fatto che, a causa della vista scorciata, non si ha una buona visibilità di tutte le zone del fronte. Gli evidenti vincoli operativi richiedono dunque di operare una attenta valutazione di tutte le variabili presenti al fine di individuare una soluzione di compromesso ottimale.

Allo stesso tempo alcune attività (come lo sviluppo di modalità di verifica delle variazioni nei parametri di orientamento del sistema) al momento hanno superato solamente la fase di progettazione e richiederanno un lungo collaudo una volta installato il sistema di acquisizione.

L'auspicio è che, una volta superata la fase di messa a punto, il sistema, anche in virtù del suo basso costo di realizzazione e installazione possa essere fattivamente usato per il monitoraggio di altri corpi nevosi o rocciosi così come in ambiti differenti.

## Bibliografia

**Pralong A., Funk M. (2006)**, "On the instability of avalanching glaciers", *Journal of Glaciology*, Volume 52, Number 176, 31-48

**Margreth, S. (1997)** "Grandes Jorasses — Glacier Whympfer, étude sur le probleme des avalanches", SLF/Regione Autonoma Valle d'Aosta

**Margreth S., Funk M. (1999)**, "Hazard mapping for ice and combined snow/ice avalanches - two case studies from the Swiss and Italian Alps", *Cold Regions Science and Technology*, 30 (1-3), pp. 159-173

**Margreth S. (2009)**, "Hazard from ice avalanches from the Whympfer glacier, Gr. Jorasses – Val Ferret, Courmayeur, Italy", SLF/Regione Autonoma Valle d'Aosta

**Margreth S., Funk M., Vagliasindi M., Broccolato M. (2010)**, "Safety concept for hazards from ice avalanches from the whympfer hanging glacier in the Mont Blanc Massif", ISSW 2010 Proceeding volume

**Funk M. (1997)**, "Grandes Jorasses-Glacier Whympfer, rapport sur le problème des chutes de séracs", VAW Zurigo/Regione Autonoma Valle d'Aosta

**libgPhoto2 (2011)**, "libgphoto2 is the core library designed to allow access to digital camera by external programs", <http://www.gphoto.org>

**Debian 6.0 "Squeeze" (2011)**, "Debian is a free operating system (OS) for computers", <http://www.debian.org/>

**Kraus K. (2007)**, "Photogrammetry: Geometry from Images and Laser Scans", Dummmler, Bonn, 1997.

**Nistér D. (2004)**. "An efficient solution to the five-point relative pose problem". *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 26 (6). pp. 756–777.

**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.

**Roncella R., Forlani G. (2009)** "Modelli Digitali di Pareti in Alta Quota: Metodologie e Casi di Studio". *Convegno Nazionale SIFET - Dalle misure al modello digitale*. Mantova, vol. 1, p. 77-86, ISBN/ISSN: 88-901939-7-2

## **Valutazione della produzione di sedimento nei bacini idrografici afferenti alla spiaggia di Santa Margherita di Pula (Sardegna SW)**

Felice Di Gregorio, Marco Pusceddu, Andrea Serreli

Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Cagliari, Laboratorio di Geologia Ambientale

### **Riassunto**

Il presente lavoro si inserisce nel quadro di una ricerca sulla valutazione del rischio d'erosione costiera in aree sensibili condotto dal gruppo di ricerca del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Cagliari in cooperazione con una unità operativa di ingegneria marittima e costiera della stessa università. L'area studiata è quella della costa di Santa Margherita di Pula, come insieme delle spiagge di Pinus Village, Riva dei Pini, Perla Marina e Forte Village, nella Sardegna sud- occidentale.

Nella presente ricerca finalizzata alla valutazione del trasporto solido è stato utilizzato il modello multiparametrico di Gavrilovic (1972), modificato da Zemljic (Gavrilovic, 1959; Zemljic, 1971; Gavrilovic, 1972), che è stato scelto perchè sviluppato in ambiente mediterraneo e su bacini di piccole dimensioni a carattere torrentizio come quelli dell'area in considerazione. Il metodo di Gavrilovic è stato sviluppato in ambiente GIS per mezzo di procedure di validazione topologica del *data base* e di integrazione dei dati sulla base del modello concettuale adottato. Operativamente si è proceduto alla successiva derivazione di informazioni di sintesi con l'attribuzione di pesi in funzione della propensione all'erosione dei vari tematismi considerati secondo le seguenti fasi attuative:

- analisi e valutazione delle caratteristiche geologiche dei bacini idrografici;
- analisi dell'uso del suolo e della copertura vegetale rilievi sul campo mediante fotointerpretazione di riprese aeree e valutazione della suscettività all'erosione delle diverse classi ai processi d'erosione;
- analisi morfometrica dei piccoli bacini idrografici sottesi dall'unità fisiografica;
- applicazione del modello di Gavrilovic con conseguente valutazione della quantità di sedimento trasportato in ciascun bacino afferente la spiaggia considerata.

### **Abstract**

This paper is part of a research that aim to the risk of coastal erosion assessment in sensitive areas, the research is conducted by the research group of the Department of Earth Sciences in cooperation with a research group that works in maritime and coastal engineering at the University of Cagliari.

The studied area is the coast of Santa Margherita di Pula, as a set of the beaches of Pinus Village, Riva dei Pini, Perla Marina e Forte Village, in the south – western Sardinia.

In this work, to assess the sediment transport was chosen the multiparametric model of Gavrilovic (1972), as amended by Zemljic (Gavrilovic, 1959; Zemljic, 1971; Gavrilovic, 1972), this model was chosen because it was developed in Mediterranean environment and in small torrential basins, like the basins in the studied area. The model of Gavrilovic was developed with a GIS, through topological validation of the database and the data integration on the basis of the conceptual model adopted, it was proceeded to the derivation of summary information by assigning a weight according to the propensity to erosion of the various thematic data, through the following steps:

- analysis and evaluation of the geological characteristics of the catchment basins;



- analysis of land use and land cover, surveys on the site through aerial photo interpretation and evaluation of susceptibility to erosion of the various classes to the erosion processes;
- morphometric analysis of the small catchment basins in the physiographic unit;
- application of the Gavrilovic model with subsequent evaluation of the amount of sediment transported in each catchment basin.

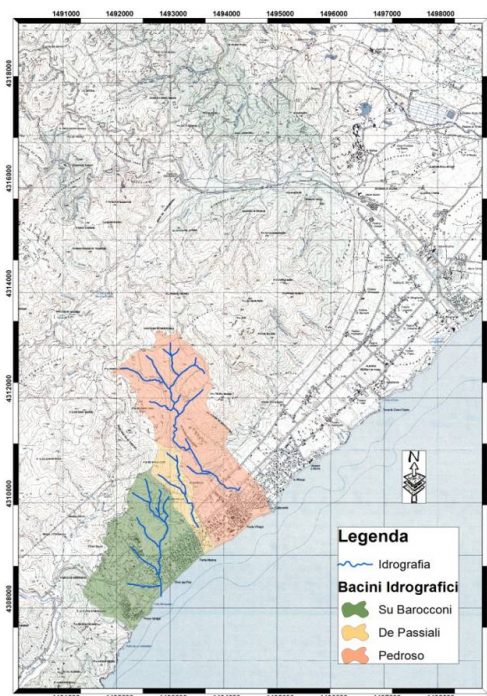


Figura 1 – Area oggetto di studio.

### Metodologia adottata

Il modello di Gavrilovic (Gavrilovic, 1972) è stato applicato per poter stimare l'apporto sedimentario nella spiaggia di Santa Margherita come insieme delle singole spiagge di Pinus Village, Riva dei Pini, Perla Marina e Forte Village, prodotto dai seguenti bacini idrografici (Figura 1):

- Bacino del Rio Su\_Barocconi (3,6 Km<sup>2</sup>);
- Bacino del Rio De Passiali (0,78 Km<sup>2</sup>);
- Bacino del Rio Pedroso (4,72 Km<sup>2</sup>).

In accordo con quanto proposto da Gavrilovic e da Zemljic (Gavrilovic, 1972) la produzione media annua in mc di sedimento si ottiene con la seguente formula analitica:

$$W = T * h * \pi * F * Z^{3/2}$$

Dove:

**W** è la perdita di suolo media annua in mc

**T** è il coefficiente di temperatura e risulta  $T = [(t'/10) + 0.1]^{1/2}$  con  $t'$  temperatura annuale media

**h** è la precipitazione annuale media in mm

**F** è la superficie del bacino in Km<sup>2</sup>

**Z** è il coefficiente di erosione relativa determinabile con la seguente espressione analitica:

$$Z = X * Y * (G + Im^{1/2})$$

Dove:

**X** è un fattore di protezione del suolo

**Y** è un fattore geolitologico di erodibilità del suolo

**G** è un fattore che esprime i processi geomorfologici erosivi e la loro intensità

**Im** è la pendenza media del bacino

Il valore di protezione **X** è stato valutato per ogni sub-area bacinale fino ad ottenere un valore medio ponderato sull'area totale del bacino.

L'attribuzione dei valori ai coefficienti **X**, **Y** e **G** è avvenuta mediante l'uso di tabelle proposte dagli autori (Zemljic 1971) e sulla base di stime delle superfici dei diversi bacini in funzione dei fattori uso del suolo e/o copertura vegetale, geologia, processi geomorfologici.

Nella presente ricerca l'applicazione del modello di Gavrilovic è stata specificatamente adattata alla realtà dei bacini idrografici sopraccitati. Per la valutazione del valore dei fattori **X<sub>i</sub>**, con **i** che varia tra 1 e **n** superfici caratterizzate da una determinata tipologia di uso o copertura del suolo sono stati rivalutati secondo un valore medio pesato sulla superficie totale di ciascun bacino per ottenere il valore di **X** associato ad ogni singolo bacino.

La parametrizzazione del valore dei fattori **Y<sub>j</sub>**, con **j** che varia tra 1 e **n** superfici caratterizzate da un substrato litologico, è stata condotta attraverso la riclassificazione del *dataset* della geologia dei substrati, associando dei valori ad ogni superficie caratterizzata da un particolare substrato geologico, in seguito rivalutati secondo un valore medio pesato per ottenere il valore di **Y** associato a ciascun bacino.

Per la valutazione del fattore G si è proceduto in prima analisi alla mappatura, per aerofotointerpretazione e rilievo in campo, delle superfici interessate da diverse forme e processi geomorfologici erosivi di vario grado e quindi alla redazione, per ciascun bacino, di un nuovo dataset, con topologia poligonale, da inserire nel database; successivamente si è proceduto alla attribuzione dei valori  $G_k$ , con k che varia tra 1 e s superfici distinte secondo la mappatura e caratterizzate da un particolare processo geomorfologico erosivo. I valori sono stati rivalutati secondo un valore medio pesato sulla superficie totale di ciascun bacino per ottenere il valore di G associato al bacino intero.

Attraverso un processo di analisi spaziale condotto sul *raster* delle pendenze è stato calcolato il valore  $Im^{1/2}$ .

Il valore della temperatura media annua  $t'$  utilizzato per il calcolo del fattore T deriva dall'analisi statistica condotta sui dati delle termometrie medie annuali relative alla stazione meteorologica di Domusdemaria, prossima all'area di studio, ed è  $t' = 17^\circ$ .

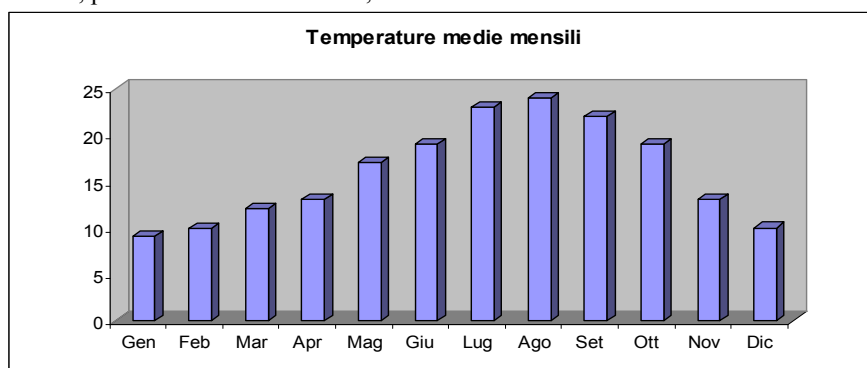


Figura 2 – Analisi statistica condotta sui dati delle temperature medie mensili.

Analogamente il valore della precipitazione media annua h utilizzato nel calcolo della formula di Gavrilovic deriva dall'interpolazione e dall'analisi statistica condotta sui dati delle altezze di pioggia medie annuali registrate nella stessa stazione meteorologica di Domusdemaria ed è  $h = 731$  mm.

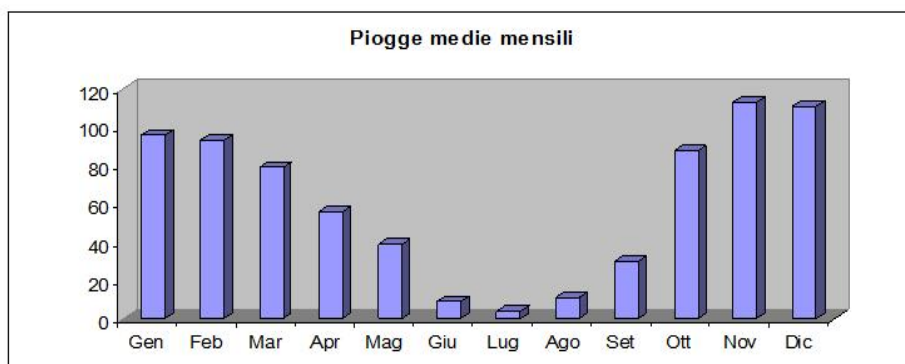


Figura 3 – Analisi statistica condotta sui dati delle altezze di pioggia.

Di seguito vengono riportate le tabelle in cui sono riassunti i valori associati ai coefficienti X, Y e G derivanti dai datasets dell'uso e della copertura del suolo e della geologia delle aree interessate da forme e processi geomorfologici erosivi. I valori riportati nelle tabelle derivano dalla osservazione

delle tabelle proposte da Zemljic (1971) e sono stati adattati alla realtà locale anche in funzione della scala di dettaglio con cui è stato redatto il dataset.

Infatti, per quanto riguarda il dataset dell'uso e della copertura del suolo si deve osservare che numerose classi di legenda non sono citate nelle tabelle del Zemljic e pertanto i valori sono stati adattati operando una scelta ponderata sulla base delle indicazioni del Piano di Assetto Idrogeologico Regionale (PAI), delle conoscenze maturate nel settore e sulla base di osservazioni dirette in campo.

| Valori del fattore di protezione del suolo X                |                                                                                         |             |
|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Bacino idrografico prima degli interventi contro l'erosione |                                                                                         |             |
| CODICE UDS                                                  | Voci di legenda                                                                         | Valore di X |
| 11211                                                       | Residenze estive organizzate in villaggi turistico-residenziali                         | 0,1         |
| 1122                                                        | Tessuto aggroresidenziale sparso e fabbricati rurali                                    | 0,5         |
| 11212                                                       | Residenze estive raggruppate ma non organizzate in villaggi                             | 0,25        |
| 12121                                                       | Grandi impianti di smaltimento rifiuti e depurazione acque                              | 0           |
| 1213                                                        | Strutture turistico-ricettive (alberghi, ristoranti, etc.)                              | 0,15        |
| 1221                                                        | Reti stradali e spazi accessori                                                         | 0           |
| 1224                                                        | Impianti a servizio delle reti di distribuzione (telecomunicazioni, energia ed idriche) | 0           |
| 1232                                                        | Porticcioli da diporto                                                                  | 0           |
| 1322                                                        | Depositi di rottami a cielo aperto                                                      | 0,7         |
| 1331                                                        | Spazi in costruzione                                                                    | 1           |
| 1332                                                        | Fasce parafulco                                                                         | 1           |
| 1411                                                        | Aree verdi urbane ed extraurbane                                                        | 0,6         |
| 1412                                                        | Spazi verdi non urbani, fasce frangivento                                               | 0,85        |
| 14212                                                       | Campi sportivi (calcio, atletica, tennis, golf)                                         | 0           |
| 2111                                                        | Seminativi in aree non irrigue                                                          | 0,9         |
| 2112                                                        | Prati artificiali                                                                       | 0,95        |
| 2124                                                        | Culture in serra                                                                        | 0,1         |
| 221                                                         | Vigneti                                                                                 | 0,7         |
| 222                                                         | Frutteti e frutti minori                                                                | 0,7         |
| 223                                                         | Oliveti                                                                                 | 0,7         |
| 3222                                                        | Formazioni di ripa                                                                      | 0,1         |
| 32311                                                       | Macchia bassa                                                                           | 0,65        |
| 32312                                                       | Macchia alta                                                                            | 0,1         |

*Figura 4 – Tabella dei valori del coefficiente X o fattore di protezione del suolo con descrizione del tipo di copertura e uso del suolo, associazione del codice CORINE land cover e associazione dei valori.*

| <b>Valori del fattore esprimente i processi geomorfologici e la loro intensità erosiva G</b>       |                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Processi erosivi caratterizzanti le singole aree cartografate                                      | <b>Valore di G</b> |
| Processi di erosione costiera ed eolica                                                            | 0.1                |
| Processi di erosione areale debole                                                                 | 0.2                |
| Processi di erosione areale intensa                                                                | 0.5                |
| Processi di erosione areale intensa e formazione di rivoli                                         | 0.6                |
| Processi di erosione lineare da deflusso in talweg, di erosione di sponda e di incisione di canali | 0.7                |

*Figura 5 – Tabella dei valori del coefficiente G o fattore esprimente i processi geomorfologici con descrizione.*

| <b>Valori del fattore di erodibilità del suolo Y</b>                                                                                                                                                                                                                                      |                    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| <b>Descrizione della litologia (legenda)</b>                                                                                                                                                                                                                                              | <b>Valore di Y</b> |
| Sabbie dei litorali da medio-grosse a ghiaiose, sino a ghiaie. Olocene Sa                                                                                                                                                                                                                 | 2.00               |
| Sabbie delle dune costiere. Olocene Eol.2                                                                                                                                                                                                                                                 | 2.00               |
| Alluvioni recenti ciottolose o ciottoloso-sabbiose, prevalentemente sciolte, a elementi più o meno grossolani a diverso grado di elaborazione. Olocene Al 4                                                                                                                               | 1,95               |
| Depositi alluvionali poligenici e policiclici ben cementati con elementi poco elaborati in matrice argillo-sabbiosa, fortemente ferrettizzata. Pleistocene Al 2                                                                                                                           | 1,90               |
| Depositi alluvionali terrazzati, ghiaiosi ed argilloso-sabbiosi, con elementi mediamente elaborati, generalmente ben cementati con matrice argilloso-sabbiosa. Pleistocene Al 1                                                                                                           | 1,80               |
| Formazione del Cixerri, depositi clastici continentali di piana alluvionale, costituiti da arenarie quarzoso-feldspatiche a grana medio grossa, stratificate e ben cementate, con intercalazioni di conglomerati poligenici argillose mamoso siltose<br>Eocene medio – Oligocene inf? Cix | 1,50               |
| Prevalenti leucosienograniti di colore rosato, con biotite, in genere a grana equigranulare grossa; localmente più o meno alterate. Carbonifero sup. – Permiano G                                                                                                                         | 0,40               |

*Figura 6 – Tabella dei valori del coefficiente Y o fattore geolitologico di erodibilità del suolo con descrizione del tipo di roccia – sottosuolo in funzione della legenda del dataset della geologia e associazione dei valori.*

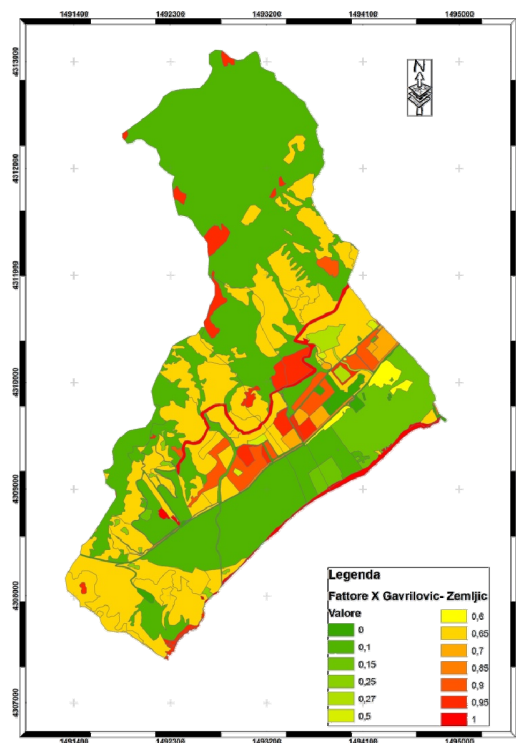
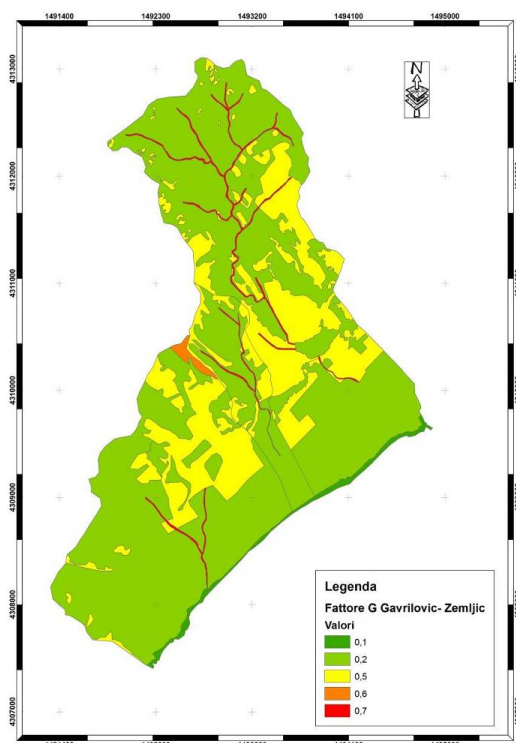
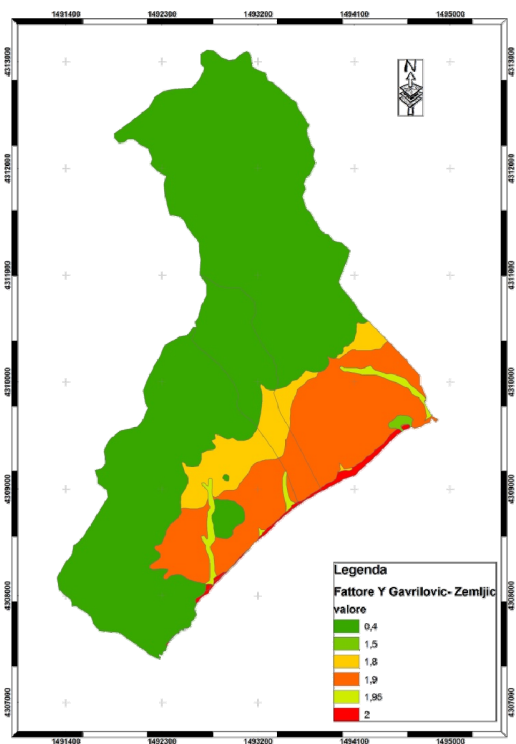
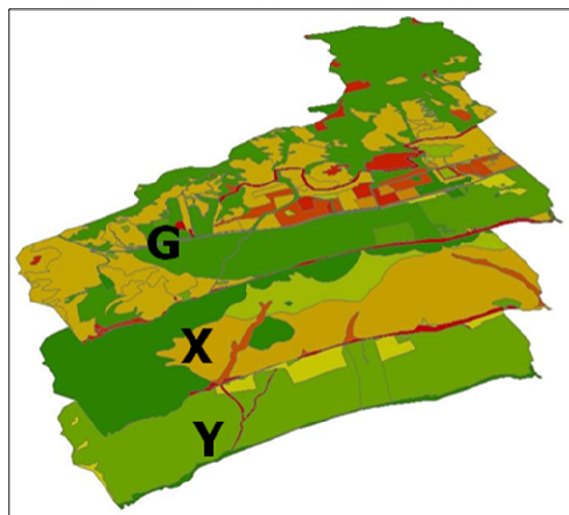


Figura 7 – Reinterpretazione dei dataset uso del suolo, della geologia e dei processi geomorfologici secondo Gavrilovic-Zemljic.

Sulla base dei valori riportati nelle tabelle e attraverso le procedure precedentemente descritte, sono stati calcolati per ciascun bacino i fattori X, Y e G per la determinazione del coefficiente di erosione relativa Z, secondo quanto riportato nella formulazione di Gavrilovic.

Dai calcoli effettuati risulta che:

| Fattore       | Bacini idrografici |               |                |
|---------------|--------------------|---------------|----------------|
|               | Rio Su Barocconi   | De Passiali   | Rio Pedroso    |
| G             | 0,15               | 0,18          | 0,21           |
| X             | 0,42               | 0,38          | 0,30           |
| Y             | 0,83               | 0,83          | 0,80           |
| Im (%)        | 23                 | 37,6          | 30,5           |
| Z             | 0,22               | 0,25          | 0,18           |
| F (Kmq)       | 3,6                | 0,78          | 4,72           |
| <b>W (mc)</b> | <b>1139,40</b>     | <b>300,67</b> | <b>1136,90</b> |

Figura 8 – Tabella riassuntiva dei valori dei coefficienti relativi a ciascun bacino e della produzione media annua di sedimento (W) di ciascun bacino idrografico.

Nel bacino del Rio Pedroso è presente un corpo di diga di 50157 mq, si è perciò voluto calcolare la quantità media annua di sedimenti prodotti nella sezione di bacino a monte della diga (Figura 9) Per poter eseguire questa operazione è stato delimitato un nuovo bacino la cui sezione di chiusura risulta essere la diga. Anche per questo bacino, sulla base dei valori riportati nelle tabelle e attraverso le procedure precedentemente descritte, sono stati calcolati per ciascun bacino i fattori X, Y e G per la determinazione del coefficiente di erosione relativa Z per poi calcolare la quantità media annua (W) di sedimento prodotto come riportato in tabella:



| Fattore       | Bacino Rio Pedroso a monte della Diga |
|---------------|---------------------------------------|
| G             | 0,28                                  |
| X             | 0,23                                  |
| Y             | 0,4                                   |
| Im (%)        | 37,8                                  |
| Z             | 0,08                                  |
| F (Kmq)       | 2,8                                   |
| <b>W (mc)</b> | <b>202,13</b>                         |

Figura 9 – Tabella riassuntiva dei valori dei coefficienti e della produzione media annua di sedimento (W) relativi alla porzione del bacino del Rio Pedroso con sezione di chiusura sulla diga.

Si può quindi affermare che la quantità di sedimento medio annua prodotta dal bacino del Rio Pedroso che arriva sulla spiaggia di Santa Margherita è pari alla differenza del quantitativo di sedimento prodotto sul totale del bacino (W1) e quello prodotto considerando la chiusura del bacino nella diga (W2):

$$W1 - W2 = 1136,90 - 202,13 = 934,77 \text{ mc.}$$

E pertanto la quantità totale media annua di sedimenti utili prodotti all'interno dei tre bacini risulta essere pari a 2374,85 mc.

Ovviamente la quantità di sedimento stimata è una quantità lorda, ovvero non tutta la quantità W calcolata in mc è quella che giunge alla sezione di chiusura dei ciascun bacino idrografico, infatti una certa quantità di sedimenti erosi e trasportati vengono depositati prima di giungere alla sezione di chiusura considerata.

La valutazione della produzione media annua di sedimenti nei bacini afferenti è molto importante in quanto gli apporti fluviali costituiscono la voce attiva generalmente più importante nei bilanci sedimentari di tratti di costa più o meno estesi. La frazione più grossolana (sabbie e ciottoli) si deposita nell'area deltizia ed alimenta il trasporto litoranei. La frazione fine (limi e argille) si deposita in genere sulla piattaforma continentale e, pur essendo in genere la frazione più ponderante nel totale dei sedimenti trasportati, ha effetti di non grande sulle spiagge importanza e soprattutto molto ritardati e dilazionati nel tempo.

### **Riferimenti bibliografici**

DI GREGORIO F. & ALTRI (1987) *Trasporto solido di un corso d'acqua o regime torrentizio e caratteristiche dei sedimenti della spiaggia alimentata. Il Rio di Quirra* (Sardegna sud-orientale). 1° Congresso internazionale di geoidrologia - Firenze

DI GREGORIO F. (1975) - *Geologia, geomorfologia, tendenze evolutive dei versanti e principali fenomeni di dissesto idrogeologico nella Sardegna Centrale*. Atti Conv. Intern. della A.N.L.S.B., in "Biologia Contemporanea" Anno II, Roma

DI GREGORIO F., PUSCEDDU M., SERRELI A *Modello per la valutazione della pericolosità geomorfologia nel bacino del Riu Pula*. Atti della 10ª Conferenza Nazionale ASITA – Bolzano, Novembre 2006

GAVRILOVIC S. (1959) – *Méthode de la classification des bassins torrentiels et équations nouvelles pour le calcul des hautes eaux et du débit solide*, Vadopriveda, Belgrado.

GISOTTI G., BENEDINI M. (2000) *Il dissesto idrogeologico – Previsione, prevenzione e mitigazione del rischio*; ed. Carocci editore, Roma

PUSCEDDU M. (2008) *Database geografico e applicazioni gis per l'analisi geoambientale della fascia costiera di Pula (Sardegna SO)*; Tesi di dottorato di ricerca in "Difesa del suolo

SERRELI A. (2007) *Database geografico e applicazioni GIS orientate allo studio geomorfologico quantitativo e alla mappatura della pericolosità idrogeologica nel bacino idrografico del Rio Solanas (Sardegna SE)*; Tesi di dottorato di ricerca in "Difesa del suolo

ZEMLJIC, M. (1971) – *Calcul du débit solide – Evaluation de la végétation comme un des facteurs antiérosif*, International Symposium Interpraevent, Villaco



## **Sistema di authoring per WebGIS applicato a tour virtuali**

Davide Di Pasquale, Nicola Maiellaro, Marco Padula, Paolo Luigi Scala

Istituto per le Tecnologie della Costruzione, Consiglio Nazionale delle Ricerche  
Via Bassini 15, 20133 Milano, {dipasquale, padula, scala}@itc.cnr.it  
Via Lembo 38b, 70125 Bari, maiellaro@itc.cnr.it

### **Riassunto**

Gli applicativi WebGIS, sia per la promozione turistica sia per offrire informazioni legate al territorio, stanno diventando uno strumento sempre più diffuso nella pubblica amministrazione.

Lo sviluppo di tali piattaforme coinvolge diversi attori, e attualmente richiede l'utilizzo di svariati software: ciò rende difficoltoso l'interscambio e la conservazione delle informazioni che vengono prodotte durante il flusso di lavoro.

In questo lavoro viene illustrato un innovativo approccio allo sviluppo di piattaforme WebGIS indirizzate alla promozione turistica, che permettano, in particolare, la fruizione di tour virtuali geo-referenziati.

Viene introdotta una rete di ambienti software a supporto di tutti gli attori coinvolti nel processo, ognuno dei quali può fare affidamento a strumenti personalizzati e dedicati al proprio ruolo, ne viene discussa l'architettura e la parziale implementazione attraverso un prototipo.

### **Summary**

WebGIS applications, both for touristic promotion and to offer information about the territory, are becoming a widely used instrument by public administrations.

The development of those platforms involves different actors, and actually different software are used: this makes harder to exchange and store information produced during the workflow.

In this work we show a novel approach to the development of WebGIS platforms for touristic promotion and for geo-referenced virtual tours exploitation.

A network of software environments supporting all the actors involved with specific tools is presented, its architecture and its partial implementation by the means of a prototype is discussed.

### **Abstract**

L'esigenza di promuovere iniziative per valorizzare il territorio e incentivare il turismo ambientale e culturale interessa sempre più anche comuni di piccole e medie dimensioni, in un quadro complessivamente caratterizzato da ridotte risorse economiche.

Considerato che sempre più spesso il turista, prima di spostarsi, si informa attraverso il web, le predette iniziative risulteranno più efficaci avvalendosi di mappe interattive e virtual tour pubblicati in rete (cfr. Governance e marketing territoriale nel turismo. Rapporto 2010, Unioncamere Emilia-Romagna)

Si avverte dunque l'esigenza di procedure e strumenti specificatamente progettati per semplificare la pubblicazione in rete di informazioni georeferenziate, riducendo – per quanto possibile – l'intervento da parte di personale specializzato.

A tal fine ITC-CNR ha sviluppato un sistema di "authoring" finalizzato alla personalizzazione dell'interfaccia di un WebGIS, la cui implementazione è stata realizzata con librerie JavaScript pre-esistenti e script PHP lato server, sviluppando nuove funzionalità soprattutto per la ricerca delle informazioni.

In considerazione delle finalità del sistema e della possibile difficoltà nel reperire le basi cartografiche, si è utilizzato GoogleMaps per visualizzare mappe e dati associati su un web browser. La scelta di adoperare una piattaforma open source (specificatamente “Openlayers”) consentirà alle Amministrazioni di impegnare la maggior parte delle specifiche risorse per garantire l'eccellenza dei contenuti.

Il sistema viene presentato facendo riferimento ai virtual tour sviluppati nell'ambito di diversi progetti di ricerca (finanziamenti Interreg Italia-Albania, Ministero Affari Esteri, Regione Puglia).

### **Stato dell'arte**

Negli ultimi decenni, la diffusione di Internet e lo sviluppo del Web hanno permesso un sempre più facile e veloce accesso alle informazioni ad un numero sempre maggiore di utenti. L'informazione spaziale (o geografica) rappresenta una tipologia di informazione che sta assumendo sempre più importanza, rendendo la ricerca di soluzioni a problemi *spatially-oriented* uno dei trend più seguiti dalle ICT, sia in ambito pubblico che privato. La necessità di combinare dati provenienti da sorgenti differenti in maniera consistente, offrendo così informazione di qualità presuppone l'accessibilità di tali dati, la conoscenza della loro provenienza, inter-operabilità e struttura: l'utilizzo e la promozione di standard e norme per la produzione e l'interscambio di dati in formato digitale ha indubbiamente un peso notevole sulla sostenibilità del ciclo di produzione di contenuti digitali così come sulla compatibilità tra dati, software e hardware.

Un ambiente di authoring per piattaforme WebGIS rappresenta uno strumento per la creazione di applicativi GIS Web-based. Tale ambiente/metodo di sviluppo può essere basato ad esempio su HTML, su un linguaggio di scripting oppure essere implementato attraverso programmi specifici creati per applicazioni WebGIS. In ogni caso, tutte le tipologie di ambienti di authoring prevedono l'utilizzo di sorgenti di dati (i cui formati dipendono dal fatto che siano o meno supportati) e come risultato finale producono applicativi di vario tipo, che possono seguire degli standard aperti o essere proprietari.

Un linguaggio particolarmente potente per lo sviluppo di applicativi WebGIS è HTML (Hyper Text Mark-up Language). L'implementazione di tale linguaggio, specificata dal W3C (WWW Consortium) non prende in considerazione aspetti legati alla geomatica, rendendo necessaria l'adozione di librerie di scripting client-side come ad esempio JQuery (JQuery Project, 2011), o alternativamente di tecnologie client-server come Java Virtual Machine o plug-in sviluppate ad-hoc. La logica a livello di presentazione viene fornita all'utente utilizzando differenti tecnologie: CSS (Cascading Style Sheets) per la presentazione grafica dell'applicazione, XML (eXtensible Mark-up Language) per gli aspetti di configurazione e per lo scambio di dati con il livello applicativo, SVG (Scalable Vector Graphics) per il rendering di primitive grafiche, ecc. L'adozione di librerie di scripting che eseguono lato client, specificatamente focalizzate sugli aspetti di interazione come la già menzionata JQuery o ExtJs (ExtJs, 2011) permettono di migliorare sensibilmente l'interattività dell'applicativo, e lo rendono quasi indistinguibile da applicativi stand-alone.

Infine, tecnologie server-side come PHP, Perl o Python rappresentano linguaggi di programmazione veri e propri che possono interfacciarsi agli script lato client di modo da comunicare dati al server e restituire i risultati di computazioni.

Esistono molte suite commerciali che offrono piattaforme di authoring per la creazione e la personalizzazione di strumenti Web-based nel campo della geomatica. Esse sono spesso una collezione di più strumenti, generalmente applicativi desktop, che permettono di generare contenuti georeferenziati, modificarne gli aspetti di presentazione all'interno di una pagina Web e facilitarne la pubblicazione. ESRI ad esempio, attraverso ArcGIS (ArcGIS, 2011), permette all'utente di manipolare dati, mappe, tipologie di proiezioni e modelli utilizzando un applicativo desktop, e successivamente rendere il risultato accessibile per mezzo di vari tipi di piattaforme (desktop, browser Web, dispositivi mobili). Mette inoltre a disposizione un insieme di strumenti per la produzione di applicazioni specializzate. Geo Web Publisher V81 di Bentley (Bentley Systems Inc.,

2011) permette di produrre e pubblicare applicativi WebGIS che offrono disegni, mappe, modelli, ortofoto ed immagini all'interno di pagine Web personalizzabili. Sostanzialmente, Geo Web Publisher è un editor desktop GIS che integra un ambiente di authoring Web.

MapXtreme (Pitney Bowes Software Inc., 2011) di Pitney Bowes è un software development kit (SDK) basato sulla piattaforma .NET di Microsoft che permette di integrare aspetti di geomatica in applicativi pre-esistenti, ed è principalmente orientato a sistemi di tipo business. Permette agli sviluppatori di produrre degli applicativi basati su mappe personalizzate e di decidere la presentazione grafica dei dati geografici. Infine, sia Intergraph con Geomedia Suite e Cadcorp con GeognoSIS (CadCorp, 2011) offrono alcuni strumenti per la pubblicazione in Rete delle mappe prodotte.

Concludendo, dopo una profonda rassegna delle soluzioni offerte nel campo dell'authoring di piattaforme WebGIS, sia open source che proprietarie, si può affermare che non esiste una soluzione integrata di authoring per applicativi WebGIS, completamente Web-based e quindi accessibile ed utilizzabile semplicemente attraverso un browser Web, e che permetta la creazione di un WebGIS totalmente personalizzabile e modificabile.

### **Metodologia di sviluppo**

La metodologia adottata per la progettazione e lo sviluppo del sistema è la metodologia Software Shaping Workshop (SSW); nella sua forma generale (Costabile et al., 2006, 2007a; Fogli et al., 2005, Nielsen, 1993) permette la progettazione e lo sviluppo di ambienti virtuali che a) supportino le attività degli utenti, permettendo loro di operare in modalità e stile di interazione specifici alla comunità di pratica di appartenenza, la loro cultura e capacità, b) siano personalizzabili, adattabili ed adattivi al contesto di utilizzo, c) supportino lo scambio di informazioni tra utenti appartenenti a differenti comunità di pratica, d) supportino la raccolta di dati riguardo all'usabilità del sistema. L'SSW è una metodologia partecipativa ed evolutiva per la progettazione e lo sviluppo di ambienti virtuali: evolutiva, in quanto gli utenti possono personalizzare e migliorare gli strumenti che utilizzano, e partecipativa in quanto l'utente finale del sistema viene coinvolto ad ogni passo dello sviluppo del sistema; ciò è reso possibile dall'adozione del ciclo di vita a stella (Hartson & Hix, 1989).

Nella prospettiva di tale metodologia, agli esperti di dominio viene fornito un ambiente software specifico, chiamato Workshop, che permette loro di operare in modalità, stili di interazione e metafore visuali appropriate per la comunità di appartenenza; in questo senso, i workshop sono strumenti software multimodali (Sarter, 2006).

I workshop sono organizzati in una rete a tre livelli, in cui ogni membro del team di progettazione (ingegneri del software, esperti di interazione uomo-macchina ed esperti di dominio) collabora allo sviluppo di ambienti virtuali specifici per il proprio dominio di interesse e funzionale alle specifiche mansioni che egli/ella deve svolgere:

- al livello più alto, detto di meta-design, gli ingegneri del software utilizzano un system workshop per creare altri system workshop destinati agli esperti di interazione uomo-macchina e agli esperti di dominio, così che essi possano collaborare alla progettazione e allo sviluppo degli application workshop utilizzati ai livelli successivi
- al livello centrale, il livello di design, i progettisti collaborano, attraverso i loro system workshop allo sviluppo e all'implementazione degli application workshop
- all'ultimo livello, il livello d'uso, gli esperti di dominio personalizzano ed utilizzano gli application workshop per perseguire i propri scopi

Nello specifico (figura 1), ogni attore a livello di meta-design utilizzerà un workshop che gli permetterà di acquisire dati da differenti sorgenti, gestire ed immagazzinare tali dati in un repository condiviso da tutti gli ambienti software della rete.

La digitalizzazione di materiale cartografico e le attività di data entry verranno velocizzate, così come verrà migliorato il risultato finale di tali attività attraverso l'utilizzo di strumenti come il

bilanciamento automatico dei colori e dei livelli, e l'auto-completamento di stringhe di testo già inserite, sulla base di informazioni precedentemente memorizzate. Un altro aspetto importante che deve essere preso in considerazione a livello di meta-design è la compilazione di metadati: gli attori coinvolti potranno compilare insiemi di metadati ed associarli a dati di vario tipo, come ad esempio immagini o mappe.

Sia la produzione di metadati che l'implementazione di meccanismi di annotazione, utili per la comunicazione tra attori, avverrà basandosi sul progetto Annotea del W3C (W3C, 2001), fondato sugli standard RDF (W3C, 2004) e XPointer (W3C, 2002): RDF è utilizzato per specificare metadati e annotazioni, mentre XPointer per collegare le annotazioni ai documenti a cui appartengono. A livello di design, i gestori dei contenuti e i Web publisher utilizzeranno i propri workshop per manipolare ulteriormente le informazioni prodotte a livello di meta-design: due differenti ambienti, il *Data Manipulation Environment* (DME), e il *WebGIS Composer Environment* (WGCE) costituiscono il workshop utilizzati a livello di design.

Utilizzando il DME, i gestori di contenuti possono navigare nel repository condiviso per recuperare i dati (assieme a possibili metadati ed annotazioni ad essi associati) che verranno utilizzati per lo sviluppo di una specifica istanza WebGIS, che verrà utilizzata dagli utenti finali a livello d'uso. La classificazione automatica dei documenti, sulla base dei metadati ad essi associati permette di semplificare e velocizzare i processi di ricerca e di aggregazione delle informazioni, che vengono supportati dalla rappresentazione iconica di insiemi di dati, così da permettere l'implementazione di uno stile di interazione di tipo drag&drop.

Infine, tutti i dati necessari per una specifica istanza di WebGIS verranno salvati in un formato dedicato, di modo da poter creare un "package" pronto per l'uso da parte dei Web publisher. Attraverso il WGCE, i Web publisher possono creare in modo interattivo un'applicazione WebGIS componendo graficamente il layout dell'interfaccia utente, scegliendo da una palette gli elementi HTML necessari per implementare l'interazione tra l'utente ed il WebGIS; questi elementi pre-esistenti possono essere personalizzati dai Web publisher, di modo da poter meglio rispondere alle necessità degli utenti. Il collegamento tra l'interfaccia utente dell'istanza di WebGIS e i dati da essa utilizzati avverrà in maniera automatica da parte del WGCE utilizzando il "package" di dati creato a livello di meta-design; informazioni come punti di interesse, elementi grafici e informazioni specifiche ad essi associati verranno inseriti automaticamente nell'interfaccia grafica dell'istanza di WebGIS.

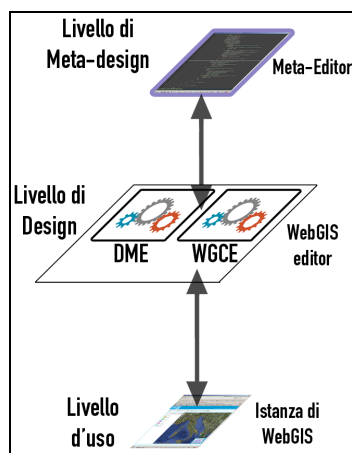


Figura 1 – La metodologia SSW specializzata alla generazione di ambienti WebGIS.

Il Web publisher attiverà infine le funzionalità ritenute necessarie a livello d'uso, scegliendole tra un vasto insieme di elementi computazionali precostituiti i quali implementano le funzionalità più diffuse ed utilizzate in ambienti WebGIS, come ad esempio: la ricerca di punti di interesse attraverso la specifica di parametri (ad esempio l'indirizzo, la tipologia del punto di interesse, il nome), il calcolo del percorso da un punto di interesse ad un altro, o la scelta di differenti tipologie di mappe. Questo insieme di funzionalità verrà implementato attraverso le API Javascript OpenLayers (OpenLayers, 2011) e sfrutterà inoltre i Web Service resi pubblici da Google: tale approccio ibrido permetterà di aggiungere flessibilità e rendere facilmente estensibile l'insieme base di elementi computazionali a disposizione del Web publisher.

A livello d'uso, gli utenti finali interagiranno con l'istanza di WebGIS implementata a livello di design, accedendo alle informazioni e ai documenti geo-referenziati preparati a livello di meta-design. L'adozione dello standard emergente HTML 5 (W3C, 2011) e l'utilizzo di JQueryUI (JQueryUI, 2011) per l'implementazione di funzioni avanzate per l'interazione permettere di fornire agli utenti finali uno strumento tanto potente quanto semplice da utilizzare.

### **Architettura del sistema**

Il diagramma delle classi di figura 2 rappresenta l'architettura generale della rete di workshop precedentemente mostrata in figura 1; evidenzia le relazioni tra i diversi componenti software del sistema e in che modo essi interagiscono tra di loro.

Il fulcro è rappresentato dalla classe User Interface, che viene specializzata da tre sottoclassi: Meta-Design Environment, Design Environment e User Environment.

La classe User Interface gestisce tutti gli aspetti legati all'interazione tra il sistema e gli utenti: in questo caso, dati che l'interfaccia utente deve supportare le attività di quattro differenti categorie di utenti (operatori della pubblica amministrazione a livello di meta-design, gestori dei contenuti e Web publisher a livello di design, e utenti finali a livello d'uso), ognuna delle sottoclassi della classe User Interface istanzia le varie funzionalità e strumenti che ognuno dei tre ambienti offre ai propri utenti.

Tutte le entità grafiche con cui gli utenti possono interagire all'interno dell'interfaccia, come ad esempio icone, pulsantiere, campi di testo e form di input, sono localizzate in base alle preferenze specificate da ciascun utente, e personalizzate sulla base del ruolo svolto da ciascun utente (ad es. gestore dei contenuti, operatore della PA, ecc... )

Il processo di localizzazione dell'interfaccia utente è svolto dal Localization Engine, che permette agli utenti di scegliere la lingua da utilizzare, scegliendola da una lista di lingue disponibili (italiano, inglese, tedesco e francese).

Il Localization Engine utilizza dei file XML di lingua, e l'insieme delle lingue disponibili può essere facilmente espanso aggiungendo un ulteriore file XML. A livello d'uso, gli utenti possono selezionare quale lingua desiderano utilizzare per la propria sessione di lavoro cliccando su un'icona che rappresenta la bandiera del paese in cui tale lingua viene utilizzata.

Di contro, il Customization Engine agisce automaticamente sull'interfaccia utente: contestualmente all'ambiente in cui viene invocato, esso presenterà degli elementi grafici per l'interazione (widget) e dati coerentemente con le capacità ed il ruolo svolto dall'utente. Ad esempio, gli operatori della pubblica amministrazione hanno di norma una certa confidenza nell'uso di fogli elettronici, dove gli insiemi di dati vengono rappresentati in termini di righe e colonne: a livello di meta-design, l'ambiente con cui essi interagiranno ricreerà tale organizzazione visuale, e tutte le operazioni di modifica e gestione dei dati, come aggiungere o rimuovere dei dati, organizzarli od annotarli, verranno offerte attraverso strumenti analoghi a quelli presenti nei fogli elettronici.

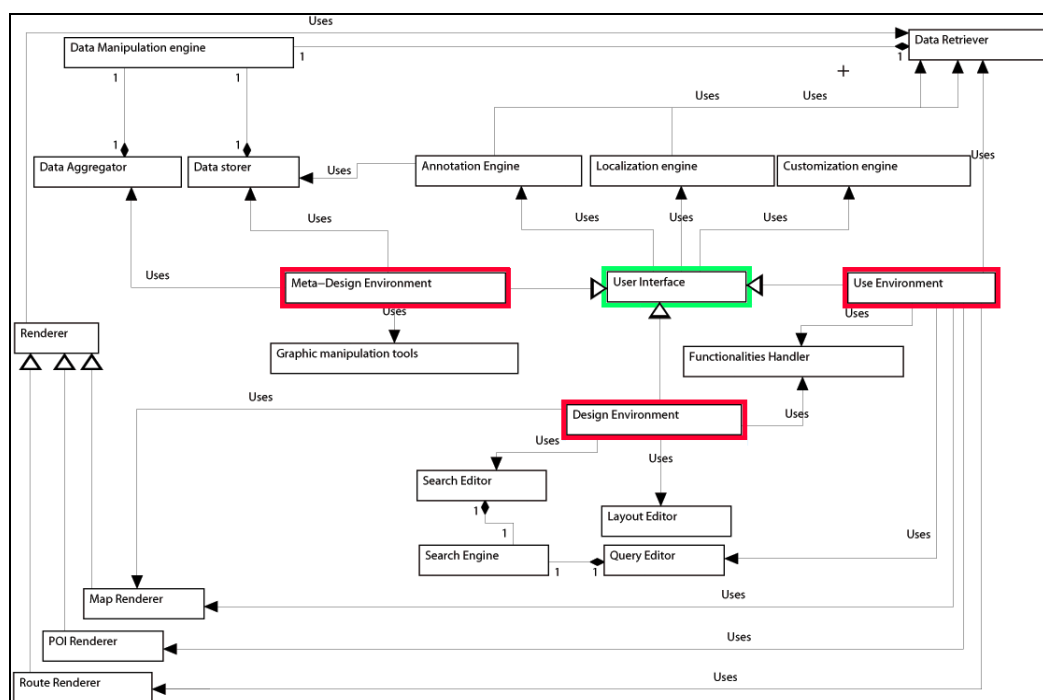


Figura 2 – Il diagramma UML delle classi per l'architettura.

Allo stesso modo, alcune operazioni svolte dagli operatori della pubblica amministrazione riguardano l'utilizzo di programmi di manipolazione grafica: verranno quindi forniti loro un insieme di strumenti per la gestione e la manipolazione di immagini, come la correzione del gamma o dei livelli. Tali funzionalità vengono implementate dalla classe Graphic Manipulation Tools.

Di contro i gestori dei contenuti, a livello di design, saranno in grado di interagire con gli stessi dati collezionati e modificati a livello di meta-design, non più in termini di righe e colonne ma come punti di interesse geo-referenziati su una mappa, o percorsi che includono un sottoinsieme dei dati identificati a livello di meta-design.

I Web publisher utilizzeranno perciò degli strumenti che permetteranno loro di organizzare graficamente la rappresentazione di tali dati, in termini di icone associate a punti di interesse, etichette di testo e elementi HTML concernenti l'organizzazione visuale dell'informazione.

L'Annotation Engine permette di creare e richiamare le annotazioni prodotte dai vari attori del sistema: esse sono principalmente utilizzate come medium di comunicazione tra i rappresentanti di livelli diversi. A livello di design, i gestori dei contenuti possono annotare i dati prodotti a livello di meta-design nel caso trovassero errori o elementi mancanti. In questo modo, gli operatori della pubblica amministrazione possono recuperare le annotazioni e correggere i problemi segnalati. A livello d'uso, gli utenti finali possono aggiungere alla mappa annotazioni geo-referenziate, o leggere annotazioni precedentemente lasciate da altri utenti di modo da scambiarsi esperienze e pareri riguardo ai luoghi visitati. In più, gli utenti finali possono annotare l'interfaccia dell'istanza di WebGIS per comunicare ai gestori dei contenuti e ai Web publisher le proprie necessità in termini di informazioni o funzionalità che desidererebbero fossero incluse. Accedendo a queste annotazioni, gli attori del sistema a livello di design possono migliorare l'istanza di WebGIS, seguendo così la naturale co-evoluzione degli utenti e del sistema.

Il Data Manipulation Engine implementa, attraverso le classi Data Aggregator, Data Storer e Data Retriever, tutte le funzionalità necessarie agli attori coinvolti nel flusso di lavoro per leggere,

modificare e salvare dati in accordo al ruolo che essi svolgono all'interno del sistema: il Data Aggregator viene utilizzato per manipolare insiemi di dati e crearne di nuovi; ciò è particolarmente utile per omogeneizzare dati provenienti da sorgenti differenti, e salvare il nuovo insieme di dati in un formato opportuno utilizzando il Data Storer. Il Data Retriever infine, gestisce tutte le operazioni di accesso a dati precedentemente memorizzati.

La classe Renderer viene specializzata da tre differenti sottoclassi, ognuna delle quali si occupa della rappresentazione grafica, principalmente per quanto riguarda l'istanza di WebGIS, dei differenti elementi geo-referenziati: le mappe, i punti di interesse e i percorsi.

Il Renderer si appoggia al Data Retriever per recuperare i dati geo-referenziati e le annotazioni da visualizzare nell'istanza di WebGIS, così come sfrutta il Data Storer per salvare le annotazioni e i percorsi temporanei calcolati per gli utenti finali.

Il Functionalities Handler è una classe che permette ai Web publisher a livello di design di attivare e configurare le funzionalità che verranno offerte a livello d'uso agli utenti finali. Tali funzionalità comprendono: zoom e pan della mappa, selezione di punti di interesse, permettere o negare la creazione di annotazioni, calcolo dei percorsi, e così via.

Allo stesso tempo, il Functionalities Handler viene richiamato a livello d'uso per implementare effettivamente le funzionalità precedentemente configurate ed attivate.

Il Layout Editor rappresenta un editor grafico interattivo per creare la disposizione delle funzionalità e delle informazioni visualizzate dagli utenti finali attraverso l'istanza di WebGIS: I gestori dei contenuti possono creare il layout grafico dell'istanza di WebGIS facendo drag&drop di widget associati alle funzionalità di navigazione della mappa, di elementi visuali come la testata della pagina, le aree grafiche componenti l'interfaccia, e manipolando direttamente tutti gli elementi grafici utilizzati per visualizzare le informazioni richieste dagli utenti.

La classe Search Engine infine, costituita dal Search Editor e dal Query Editor, permette ai gestori dei contenuti di configurare lo strumento di ricerca utilizzato dagli utenti finali a livello d'uso.

Attraverso il Search Editor, i gestori di contenuti specificano quali informazioni geo-referenziate possono essere ricercate dagli utenti finali e il modo in cui essi possono esprimere le loro richieste sottoforma di query. Gli utenti finali utilizzeranno quindi in Query Editor presente nell'istanza di WebGIS per cercare le informazioni desiderate.

### **Prototipo operativo**

E' stato sviluppato un prototipo del sistema sulla base dell'architettura illustrata nella sezione 4: al momento, esso offre funzionalità per la manipolazione dei dati a livello di design ed uso, mentre tutte le attività svolte a livello di meta-design sono ancora svolte appoggiandosi a software di terze parti. Il prototipo permette di produrre un'istanza di WebGIS per la ricerca e la navigazione di punti di interesse raccolti in categorie, localizzati su una mappa, e la fruizione delle informazioni multimediali ad essi associate, ad esempio il virtual tour del luogo individuato dal punto di interesse.

A livello di design, i gestori di contenuti accedono ai dati contenuti in un file di formato DBF (dBase, 2011), riferiti a punti di interesse; essi vengono automaticamente suddivisi per categoria dal sistema, e successivamente i gestori di contenuti possono specificare le icone da utilizzare per rappresentare ciascuna categoria, specificare degli alias per dei campi del file dbf che verranno visualizzati a livello d'uso, e indicare lo stato iniziale della mappa in termini di latitudine e longitudine del centro e fattore di zoom.

I Web publisher possono agire sull'aspetto grafico generale dell'istanza di WebGIS caricando un logotipo personalizzato come testata della pagina Web, ed inserendo un titolo ed un sottotitolo.

Inoltre, configurano l'arrangiamento visuale con cui le informazioni relative ad un punto di interesse selezionato dagli utenti finali verranno fornite ad essi.

Lo sviluppo di questo prototipo si è reso necessario a fronte della manifesta necessità da parte di svariati comuni del sud Italia di poter pubblicare un applicativo WebGIS per la promozione



turistica, che fosse economico, semplice da installare e da configurare su diverse tipologie di piattaforme hardware, come punti informativi posizionati sul territorio e server web locali. La nostra proposta consiste in una tecnica di sviluppo di sistemi interattivi basata su tecnologia AJAX (Asynchronous JavaScript and XML), che include le API OpenLayers per il rendering geospaziale dei dati all'interno di un browser web.

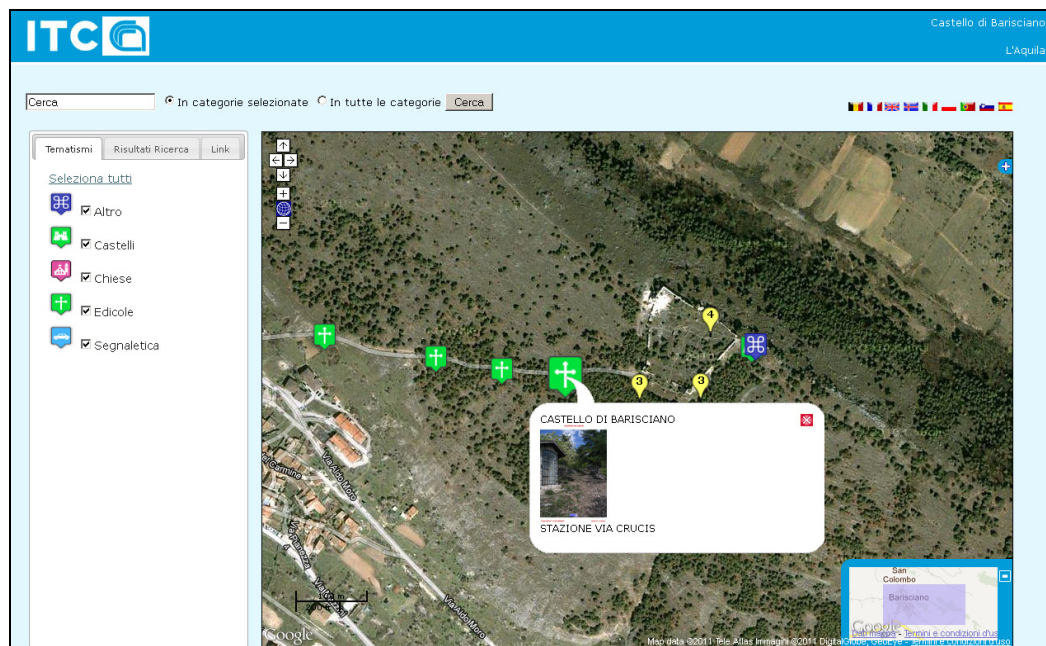


Figura 3 – L'istanza di WebGIS.

Un applicativo AJAX comprende solitamente diverse tecnologie: XHTML e CSS per l'aspetto grafico, Document Object Model (DOM) per implementare i comportamenti dinamici e di interazione nella pagina Web, XML e XSLT per lo scambio di dati e la loro manipolazione, XMLHttpRequest per la comunicazione asincrona tra il server ed il client.

Per soddisfare la richiesta di semplicità di installazione del sistema, tutti i dati sono memorizzati in un file XML piuttosto che in un database (che richiederebbe l'installazione di un sistema di gestione di basi di dati nel caso non fosse già presente sul server che ospita il sistema), eccezion fatta per i dati geo-referenziati, memorizzati in formato GeoJSON (Geographic JavaScript Object Notation): GeoJSON è una specializzazione del formato di scambio di dati JSON atto ad esprimere dati geo-referenziati utilizzando un sottoinsieme di istruzioni fornite dal linguaggio Javascript (GeoJSON, 2011).

Per l'implementazione di ambiente di editing caratterizzato da un alto grado di interazione, è stata utilizzata la libreria JQuery UI: basata sulla più generica JQuery, è una libreria Javascript che fornisce un livello di astrazione per la programmazione dell'interazione e animazione, effetti grafici avanzati e una gestione degli eventi personalizzabile (JQuery Project, 2011b).

Allo stesso tempo JQuery UI è stata utilizzata per l'implementazione dell'interfaccia dell'istanza di WebGIS (figura 3), di modo da fornire agli utenti finali un insieme di strumenti facili da usare per la navigazione delle mappe e la ricerca delle informazioni.

Allo stato attuale di sviluppo, il prototipo consiste del DME, un insieme limitato di funzionalità del WGCE e dell'istanza di WebGIS.

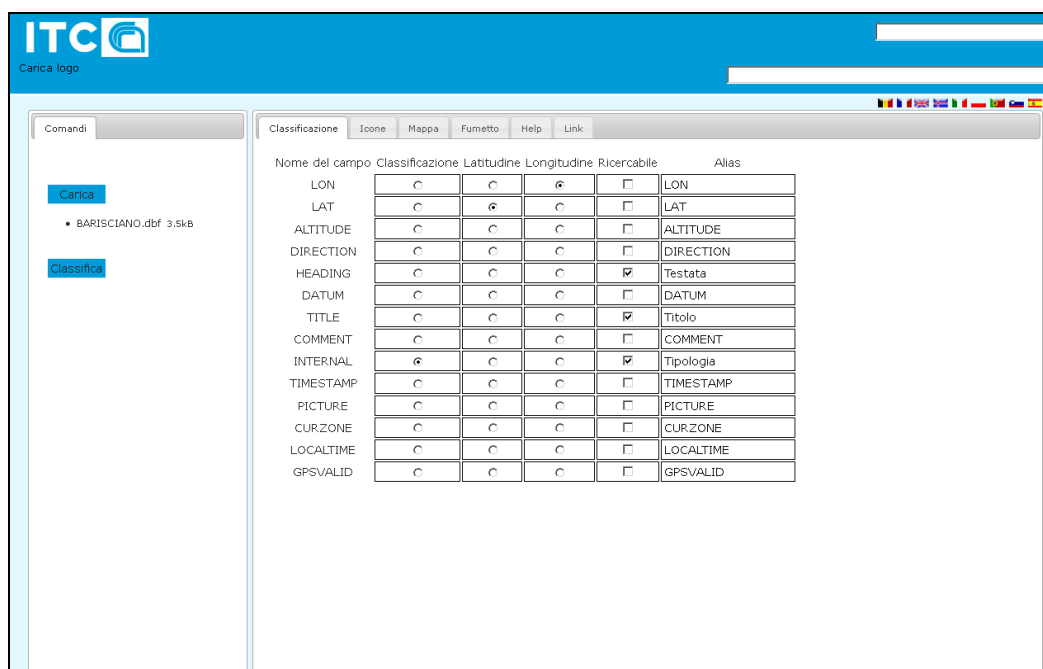


Figura 4 – Uno dei sotto-ambienti offerti dal DME.

Il flusso di lavoro si svolge quindi come segue: gli operatori della pubblica amministrazione trasmettono i file in formato DBF al gestore di contenuti, che li carica nel DME utilizzando il bottone “carica file” presente all’estrema sinistra dell’interfaccia illustrata in figura 4. Come risultato dell’operazione di caricamento, i nomi dei campi del file DBF vengono visualizzati nella prima colonna della tabella al centro dell’interfaccia, mentre le altre colonne permettono al gestore di contenuti di definire quale campo debba essere utilizzato per la classificazione automatica, i campi in cui sono memorizzati latitudine e longitudine, e quali campi possono essere ricercabili dagli utenti finali.

Inoltre, è possibile associare un alias al nome reale del campo che verrà visualizzato nell’istanza di WebGIS; questa funzionalità è particolarmente utile se i nomi dei campi presenti nel file DBF che necessitano di essere visualizzati nell’istanza di WebGIS sono poco chiari o confusivi.

Una volta completata questa attività, il gestore dei contenuti attiva la classificazione automatica dei dati geo-referenziati presenti nel file DBF, sulla base dei valori presenti nel campo che è stato precedentemente scelto per la classificazione, ed associa ad ogni tipologia di punti di interesse una icona ed una descrizione. Questo è possibile attivando il sotto-ambiente “Icone” (figura 5): ogni tipologia di punti di interesse individuata verrà visualizzata in un livello dedicato nell’istanza di WebGIS.

Successivamente alla scelta delle icone da associare alle tipologie di punti di interesse, attivando il sotto-ambiente “Mappa” il gestore di contenuti può decidere interattivamente il centro della mappa ed il fattore di zoom iniziale a cui verrà visualizzata nell’istanza di WebGIS.

Il Web publisher invece, decide l’organizzazione grafica delle informazioni visualizzate dagli utenti finali nel momento in cui un punto di interesse viene selezionato: attivando il sotto-ambiente “Fumetto”, egli/ella può comporre graficamente il contenuto del “fumetto” che viene mostrato nell’istanza di WebGIS cliccando su un punto di interesse (figura 3).

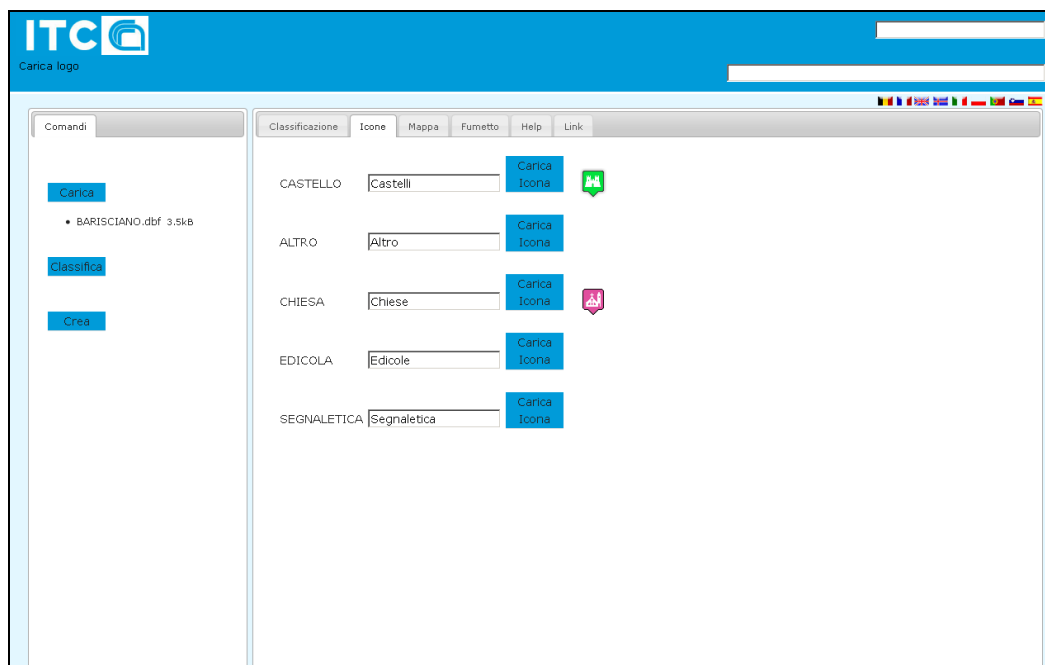


*Figura 5 – Scelta delle icone da associare alle tipologie di punti di interesse.*

Infine, cliccando su “Help” si ottiene una lista delle funzionalità offerte dal sistema con alcune indicazioni di utilizzo, mentre cliccando su “Link” il Web publisher può inserire un insieme di collegamenti ipertestuali ritenuti di qualche interesse per l’utente finale, il quale potrà consultarli sempre cliccando su “Link” nell’istanza di WebGIS.

Una volta terminate le operazioni di configurazione, cliccando sul bottone “Crea”, a sinistra dell’interfaccia”, l’istanza di WebGIS viene creata sottoforma di archivio ZIP che, una volta decompresso in una directory di un Web server, risulterà nell’istanza di WebGIS.

I gestori di contenuti, così come i Web publisher e gli utenti finali possono anche localizzare l’interfaccia dell’ambiente che stanno utilizzando, cliccando una delle bandiere presenti in alto a destra dell’interfaccia; per il prototipo di sistema sono state implementate la localizzazione in italiano e inglese.

Per quanto riguarda l’istanza di WebGIS, gli utenti finali possono interagire con la mappa al centro dell’interfaccia, cliccare sui punti di interesse per visualizzare le informazioni ed i virtual tour ad essi associati, oppure possono cercare degli specifici punti di interesse utilizzando il campo di ricerca in alto a sinistra: possono inoltre decidere se effettuare la ricerca tra tutte le tipologie di punti di interesse o solo in alcune. Il risultato dell’attività di ricerca verrà quindi visualizzato nel sotto ambiente “Risultati della ricerca”.

## **Contenuti**

Una delle applicazioni sviluppate riguarda la fruizione a distanza dei manufatti architettonici: ITC-CNR ha sviluppato foto immersive con funzionalità aggiuntive rispetto a quelle usualmente disponibili, consentendo la creazione di veri e propri tour virtuali con riferimento sia alla collocazione geografica dei siti, sia a specifici oggetti d’interesse collocati negli ambienti del virtual tour.

Ad esempio, il sito ufficiale italiano del turismo consente la selezione di un tour virtuale scegliendo i siti in base alla sola tipologia, evidenziata a colori su una semplice mappa interattiva; attivato il

tour, i vari ambienti immersivi collegati vengono evidenziati mediante cerchietti difficilmente individuabili e interpretabili ([www.italia.it/it/media/tourvirtuali-ditalia.html](http://www.italia.it/it/media/tourvirtuali-ditalia.html)).

L'interfaccia (figura 6) sviluppata da ITC-CNR consente invece di selezionare un tour anche mediante ricerca per campi all'interno del WebGIS innanzi descritto; attivato il tour, gli ambienti immersivi collegati sono evidenziati mediante a) frecce direzionali; b) icone collocate in una mappa Google; c) miniature visualizzate in una finestra a scomparsa.

Un'ulteriore finestra a scomparsa consente di accedere ai predetti ambienti con inquadrature specifiche su manufatti particolarmente interessanti.

E' infine possibile attivare una visita guidata precedentemente costruita, oltre ad ottenere informazioni sull'ambiente corrente, riprodotte mediante audio generato in base al testo.

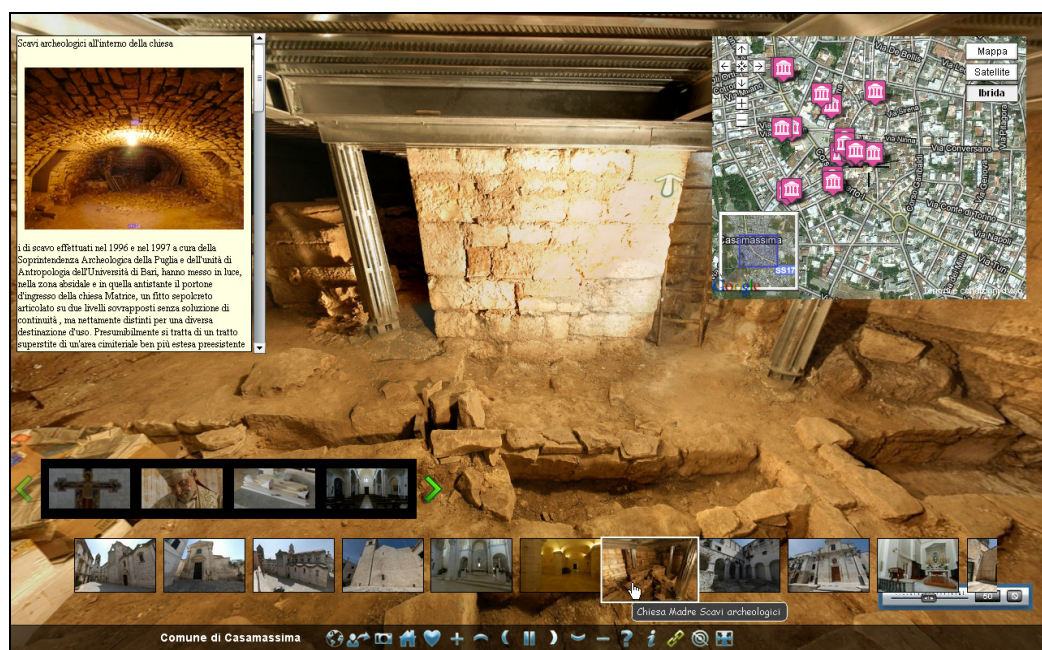


Figura 6 – Interfaccia di uno degli ambienti immersivi del virtual tour.

## Conclusioni

In questo lavoro viene illustrato un innovativo approccio allo sviluppo di piattaforme WebGIS indirizzate alla promozione turistica, che permettano la fruizione di tour virtuali geo-referenziati.

Adottando un punto di vista che non tiene in considerazione unicamente la fruizione delle informazioni da parte degli utenti finali, ma considerando invece l'intero flusso di lavoro costituito da attività quali la raccolta delle informazioni e la loro manipolazione, gestione e pubblicazione, è possibile fornire una rete di ambienti a supporto di tutti gli attori coinvolti nel processo, ognuno dei quali può fare affidamento a strumenti personalizzati e dedicati al proprio ruolo. In accordo con la metodologia SSW per la progettazione e lo sviluppo di ambienti virtuali, viene proposta un'architettura di sistema, successivamente implementata parzialmente attraverso un prototipo, anch'esso discusso e mostrato nell'ultima sezione.

## Bibliografia

- ArcGIS (2011) <http://www.esri.com/software/arcgis/index.html>, ultimo accesso 2 settembre 2011
- Bentley Systems, Inc (2011), Bentley's Geo Web Publisher <http://www.bentley.com/en-US/Products/Bentley+Geo+Web+Publisher>, ultimo accesso 2 settembre 2011
- CadCorp (2011) [http://www.cadcorp.com/products\\_geographical\\_information\\_systems/geognosis.htm](http://www.cadcorp.com/products_geographical_information_systems/geognosis.htm), ultimo accesso 2 settembre 2011
- Costabile, M. F., Fogli, D., Mussio, P., Piccinno, A. (2006), End-user development: the software shaping workshop approach, In H. Lieberman, F. Paternò and V. Wulf (Eds.), *End User Development Empowering People to Flexibly Employ Advanced Information and Communication Technology*, 183-205. Dordrecht: Springer.
- Costabile, M. F., Fogli, D., Mussio, P., Piccinno, A. (2007). "Visual Interactive Systems for End-User Development: a Model-based Design Methodology", *IEEE TSMCA*, 37-6: 1029-1046.
- dBase (2011), <http://www.dbase.com/>, ultimo accesso 2 settembre 2011
- ExtJs (2011), <http://www.sencha.com/products/extjs/>, ultimo accesso 2 settembre 2011
- Fogli, D., Fresta, G., Marcante, A., Mussio, P., & Padula, M. (2005), "Annotation in cooperative work: from paper-based to the web one", presentato al congresso "the International workshop on annotation for collaboration", Paris.
- GeoJSON (2011), <http://geojson.org/>, ultimo accesso 2 settembre 2011
- Hartson, H. R., & Hix, D. (1989), "Human-computer interface development: concepts and systems for its management", *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 21-1: 5-92.
- jQuery Project (2011), <http://jquery.com/>, ultimo accesso 2 settembre 2011
- jQuery Project (2011), JQuery UI <http://jqueryui.com>, ultimo accesso 2 settembre 2011
- Nielsen, J. (1993), *Usability Engineering*, San Diego: Academic Press.
- OpenLayers API (2011), <http://openlayers.org/>
- Pitney Bowes Software Inc. (2011), MapExtreme 2008 <http://www.pbinsight.com/products/location-intelligence/developer-tools/desktop-mobile-and-internet-offering/mapxtreme-2008/>, ultimo accesso 2 settembre 2011
- Sarter N. B. (2006), "Multimodal information presentation: Design guidance and research challenges", *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36:439-445
- W3C (2001), <http://www.w3.org/2001/Annotea/>, ultimo accesso 2 settembre 2011
- W3C (2002), XML Pointer Language, <http://www.w3.org/TR/xptr/>, ultimo accesso 2 settembre 2011
- W3C (2004), Resource Description Framework, <http://www.w3.org/RDF/>, ultimo accesso 2 settembre 2011
- W3C (2011), <http://dev.w3.org/html5/spec/Overview.html>, ultimo accesso 2 settembre 2011



## **Rilevamento e modellazione 3D del teatro antico di Palazzolo Acreide. Problematiche nell'elaborazione e gestione dei dati laser-scanning**

Fabio Di Salvo, Mauro Lo Brutto, Paola Meli, Pietro Orlando, Benedetto Villa

DICA, Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Aerospaziale, Università degli Studi di Palermo  
Viale delle Scienze Ed. 8, 90128 Palermo  
E-mail {fabio.disalvo, lobrutto, paola.meli, pietro.orlando, bevilla}@unipa.it

### **Riassunto**

Le procedure per la realizzazione di modelli 3D di beni culturali ad alta risoluzione richiedono in genere sia fasi di rilievo impegnative sia operazioni di elaborazione ed *editing* dei dati spesso assai onerose dal punto di vista computazionale ed operativo. In particolare, il numero enormemente elevato di punti che deriva dalla fase di acquisizione comporta in fase di elaborazione talune criticità, dovute alla difficile gestione sia del modello a “nuvola di punti” sia del modello a superficie (*mesh*). Diventa quindi fondamentale procedere ad una fase di riduzione e semplificazione dei dati che non comporti però una perdita nel livello di dettaglio. Tali problematiche sono state affrontate durante le operazioni di rilevamento del teatro antico del sito archeologico di Palazzolo Acreide (SR), finalizzato alla realizzazione di un modello 3D fotorealistico. Durante le varie fasi del lavoro sono state testate e verificate differenti procedure di triangolazione e decimazione di superfici, in modo da ottenere un prodotto facilmente gestibile per la generazione di ulteriori elaborati 2D e 3D, sotto forma di profili, sezioni e modelli *texturizzati* navigabili.

### **Abstract**

The achievement of high resolution 3D digital models of cultural heritage usually needs both demanding survey operations and data processing procedures often very onerous from computational point of view. Particularly, the huge number of points deriving from data acquisition by laser-scanning techniques brings some problems during data processing, due to the difficult management of the point clouds model and the surface model obtained from the first. Then it is necessary to reduce and simplify acquired data, without losing any information.

These subjects were tackled during the survey operations of the ancient theatre of the archaeological site at Palazzolo Acreide (SR), directed to the achievement of a 3D rendered model. During the stages of data processing different triangle meshing and decimation procedures were tested, so that a model, more easily manageable, was obtained to produce further 2D and 3D digital drawings (plans, sections, navigable textured models), useful to the study, analysis and fruition, through web too, of the archaeological site.

### **Introduzione**

Con il crescente sviluppo delle metodologie e delle strumentazioni nell'ambito del rilievo e della restituzione grafica è possibile ottenere elaborati bidimensionali e tridimensionali sempre più accurati, che diventano una base insostituibile per la documentazione, la conservazione e la valorizzazione di un qualsiasi bene, sia esso architettonico, archeologico o ambientale (Girardi et al., 2007).

Tra le varie tecniche quelle laser-scanning risultano le più avanzate per documentare monumenti ed edifici difficilmente rilevabili con tecniche tradizionali, spesso per la complessità e l'articolata forma geometrica (Giuffrida et al., 2005).

I sistemi laser scanner producono come risultato della sessione di misura un insieme di coordinate tridimensionali, riferite ad un sistema di riferimento intrinseco allo strumento, che definiscono quella che generalmente viene indicata con il termine "nuvola di punti", la quale descrive, con un livello di dettaglio variabile in funzione dei parametri di scansione, la superficie esterna dell'oggetto rilevato. Le "nuvole di punti" così ottenute vengono elaborate con software dedicati attraverso operazioni di filtraggio e/o ricampionamento allo scopo di migliorare il dato 3D eliminando il rumore della scansione, i punti non significativi, i punti posizionati in maniera errata, ecc.

Sebbene tale tecnologia consenta di ridurre i tempi di acquisizione, le fasi successive di processamento dati e modellazione presentano diverse problematiche, che spesso aumentano i tempi di elaborazione. Una delle criticità maggiori riguarda la riduzione della mole di dati che spesso non è possibile realizzare interamente attraverso tecniche automatiche di filtraggio. Infatti, il numero troppo elevato di dati prodotto dallo strumento spesso rende difficoltose la visualizzazione e la gestione dell'intero modello, soprattutto se non si dispone di *hardware* e *software* in grado di gestire grossi file.

Il rilievo del teatro antico del sito archeologico di Palazzolo Acreide (SR), effettuato nell'ambito di una convenzione stipulata tra UniNetLab (Sistema di Laboratori d'Ateneo dell'Università di Palermo) e il Centro Regionale per la Progettazione e il Restauro della Regione Sicilia, ha costituito un interessante banco di prova per ottenere oltre a elaborati tradizionali, come sezioni e piante, anche un modello 3D da scansione laser con un elevato livello di dettaglio (risoluzione di 2 cm).

Nello studio sono state analizzate e affrontate le difficoltà riscontrate nella gestione di dati provenienti da laser scanner. In particolare, il numero enormemente elevato di punti in fase di elaborazione ha mostrato talune criticità, dovute alla difficile gestione sia del modello a nuvola di punti sia del modello a superficie (*mesh*) derivato dal primo, con l'esigenza, dunque, di procedere alla semplificazione dei dati. A tale proposito sono state testate e verificate differenti procedure di triangolazione e decimazione di superfici per la generazione di ulteriori elaborati 2D e 3D, con l'obiettivo di controllarne la precisione in relazione a determinate scale di rappresentazione (nello studio condotto si sono considerati elaborati fino alla scala 1:20).

### **Descrizione del sito**

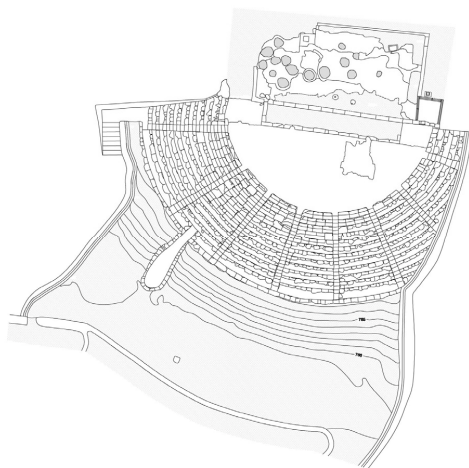
Il teatro greco si trova all'interno della zona archeologica di *Akrai*, colonia greca fondata dai siracusani nel 664 a.c., estesa su un pianoro di circa 35 ettari, a circa 770 m dal livello del mare, tra la valle dell'Anapo a nord e quella del Tellaro a sud.

Il teatro, di modeste dimensioni (poteva contenere circa 600 spettatori), fu portato alla luce nel 1824 da Gabriele Iudica e costituisce il più rilevante monumento di *Akrai*. Esso non è scavato nella roccia ma poggia su un pendio naturale ed è delimitato da due muri di sostegno che determinano lo sviluppo dei gradini nei cunei laterali della cavea (Fig. 1).





Figura 1 – Il teatro antico di Akrai. In alto la cavea, a destra la planimetria dell'area.



Quest'ultima è costituita da 9 cunei e 12 gradini separati da 8 scale. Nella parte alta del settimo cuneo vi è una stretta galleria che collegava il teatro con il *bouleuterion*. L'orchestra, spazio in cui durante le rappresentazioni teatrali si muoveva il coro, è di forma semi-circolare e la scena, anziché sorgere al limite dell'area circolare, è molto più avanzata, con la parte frontale proprio sul diametro dell'orchestra.

Il teatro, in età romano-imperiale, subì delle modifiche con la costruzione di una nuova scena più avanzata di circa 2 metri che ridusse lo spazio dell'orchestra. In quello stesso periodo si pavimentò l'area dell'orchestra con lastre levigate in pietra, ancora in situ, e si edificò un chioschetto di cui rimane il basamento in pietra. In epoca bizantina, su un'area ricadente su una porzione della scena venne impiantato un edificio per la lavorazione del grano, come testimoniato dal ritrovamento di grosse macine e dalla presenza di una gran quantità di silos.

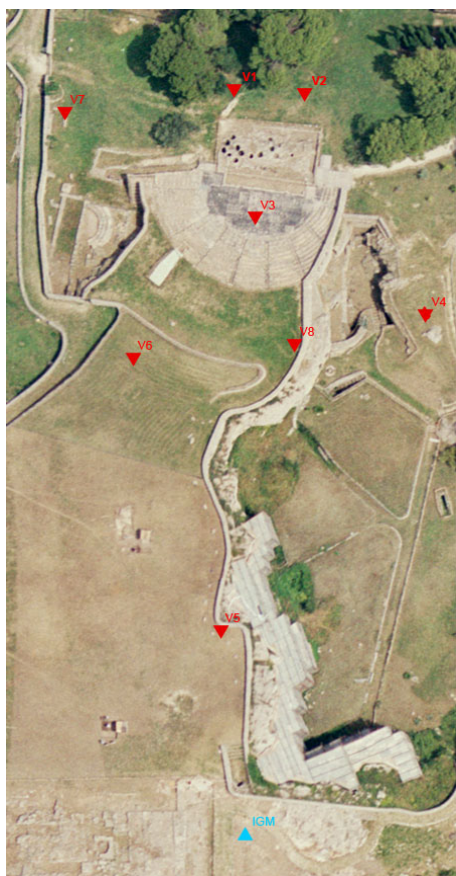


Figura 2 – Vertici della rete d'inquadramento.

### Le operazioni di rilevamento

Il rilievo del teatro di Akrai è stato effettuato secondo diverse fasi operative e con l'integrazione di differenti tecniche (topografiche, GPS, laser-scanning, fotogrammetriche). In una prima fase è stata materializzata e rilevata, con una stazione totale Leica 1105, avente un'accuratezza sulle misure angolari di  $\pm 1.5$  mgon e sulle distanze di  $\pm (2 \text{ mm} + 2 \text{ ppm})$ , una rete d'inquadramento composta da 8 vertici. La rete è stata calcolata intrinsecamente rispetto ad un sistema locale di riferimento; i valori degli s.q.m. sono risultati tutti contenuti entro  $\pm 5 \text{ mm}$  per le coordinate planimetriche, e  $\pm 2 \text{ mm}$  per la quota). Successivamente la rete è stata inquadrata nel sistema cartografico UTM-ED50, collegando tre vertici con il vertice IGM95 273902 (Palazzolo Acreide), ubicato all'interno del parco archeologico, tramite un rilievo GPS rapido-

statico (Fig. 2). La rete d'inquadramento è stata utilizzata per il rilievo dei target laser, dei punti di appoggio fotogrammetrico e di punti di dettaglio utili per le successive fasi di rappresentazione.

Per l'acquisizione della superficie del teatro è stato utilizzato un laser scanner a tempo di volo Mensi GS200 caratterizzato da una portata variabile da 2 a 200 metri e una risoluzione minima di 32  $\mu$ rad (pari a 3 mm a 100 m). Complessivamente sono state eseguite 18 scansioni da differenti punti di stazione; per le scansioni della gradinata si è utilizzato un ponteggio, in modo da posizionare lo strumento ad una quota più elevata rispetto al piano di campagna ed evitare quindi gran parte delle zone d'ombra in corrispondenza dei gradini più alti. In fase di acquisizione, le scansioni sono state impostate con una risoluzione di 1 cm a 10 metri; inoltre, si è cercato di ottenere un'elevata percentuale di sovrapposizione tra scansioni effettuate da punti stazione differenti. In totale sono stati acquisiti circa 30 milioni di punti. Per unire le varie scansioni e riferirle ad un unico sistema di riferimento sono stati utilizzati target piani retro-riflettenti in dotazione allo strumento; per ogni scansione sono stati acquisiti almeno 4 target.

I muri esterni sul lato est e sul lato ovest del teatro sono stati rilevati con l'impiego di tecniche fotogrammetriche. È stato utilizzato il sistema ZScan della Menci Software che prevede l'esecuzione di una sequenza di tre foto tramite una barra calibrata e la successiva elaborazione automatica per la generazione automatica di una "nuvola di punti" dell'oggetto fotografato, con una densità ed un livello di dettaglio molto prossimi a quelli ottenuti con le scansioni laser. Sono state eseguite 7 triplette per ogni lato, da una distanza variabile da 10 m a 20 m circa. Le immagini sono state orientate utilizzando le coordinate di alcuni target fotogrammetrici preventivamente materializzati e posizionati in modo opportuno. In questo modo è stato possibile ottenere i dati di misura nello stesso sistema di riferimento del rilievo laser. Le immagini sono state elaborate per ottenere "nuvole di punti" con risoluzione di 1 cm. Tali parti sono state quindi assemblate al modello laser precedentemente realizzato, per ottenere un modello 3D completo (Fig. 3).



Figura 3 – Modello a “nuvola di punti”.

### Processamento dati

Per l'elaborazione dei dati possono essere usate differenti strategie in rapporto alla tipologia del dato, alla complessità dell'oggetto e al risultato che si vuole ottenere (Bitelli, 2002). Anche nell'ambito del rilievo archeologico esistono diversi metodi di ricostruzione della superficie dell'oggetto a partire dalla "nuvola di punti" ottenuta. Il primo metodo consiste nella creazione di un modello triangolato (*mesh*); il secondo prevede l'estrazione di sezioni e la generazione di superfici attraverso interpolazione (González Aguilera et al., 2007).

In questo caso si è optato di realizzare un modello interamente a *mesh* poiché più adatto per una rappresentazione realistica delle forme del teatro.

L'elaborazione dei dati rilevati con tecniche laser-scanning è stata condotta con i software *RealWorks* e *Geomagic Studio* ed è stata articolata nelle seguenti fasi:

- delimitazione dell'area utile per la modellazione del teatro in ogni singola scansione ed eliminazione delle parti non pertinenti (zone esterne, alberi, staccionate, ecc.);
- georeferenziazione delle scansioni nel sistema UTM-ED50, mediante i target retro-riflettenti;
- registrazione globale di tutte le scansioni per minimizzare eventuali errori residui del processo di georeferenziazione;
- unione delle scansioni, filtraggio dei punti per ridurre il "rumore" ed eliminare eventuali punti marginali, ricampionamento con un passo uniforme di 1 cm;
- suddivisione della nuvola di punti in tre parti omogenee (scena, gradinate e terrapieno superiore) per la successiva creazione delle *mesh*; tale fase è stata necessaria per ridurre i tempi di elaborazione a causa dell'elevatissimo numero di punti;
- generazione ed *editing* delle *mesh*. Per ogni singola parte della nuvola di punti del teatro è stata prodotta una superficie a forma di *mesh* triangolare. Sulle *mesh* sono stati applicati dei filtri per eliminare in maniera automatica le incongruenze geometriche e chiudere i "buchi"; in alcuni casi, per risolvere tale problema, è stato necessario intervenire con tecniche manuali;
- unione delle singole parti e produzione del modello 3D complessivo a superfici (*mesh*) ad alta risoluzione;
- produzione di un nuovo modello a superfici *mesh* a risoluzione più bassa (pari al 20% del modello di partenza), ottenuto dal precedente modello a *mesh* con decimazione a priorità di curvatura; tale superficie è stata utilizzata per la creazione del modello 3D texturizzato;
- trasformazione del modello a bassa risoluzione nel formato *VRML* (*Virtual Reality Model Language*), adatto per la visualizzazione e la navigazione virtuale;
- estrazione di curve piane orizzontali (curve di livello) e verticali (profili) mediante piani di sezione e realizzazione della planimetria della zona del teatro alla scala 1:100.

### Comparazione delle procedure di modellazione

In fase di elaborazione dati sono state sperimentate diverse metodologie e differenti parametri di modellazione al fine ottenere dati facilmente gestibili. Avendo operato con distinte procedure, anche in funzione della suddivisione in tre porzioni dell'area del teatro, si è deciso in seguito di confrontare i metodi adottati in modo da valutarne la precisione.

Il confronto è stato condotto su una porzione limitata, comprendente parte della gradinata e della pavimentazione inferiore del teatro (costituita da 2.803.705 punti), in modo da lavorare con file più gestibili, senza per questo rinunciare alla rigorosità della procedura di verifica (Fig. 4). Nella parte della gradinata, che è l'area caratterizzata dai dettagli architettonici più significativi, sono state riscontrate alcune criticità, con presenza di "rumore" e ridondanza di dati, in relazione anche a zone d'ombra e alla presenza di vegetazione.

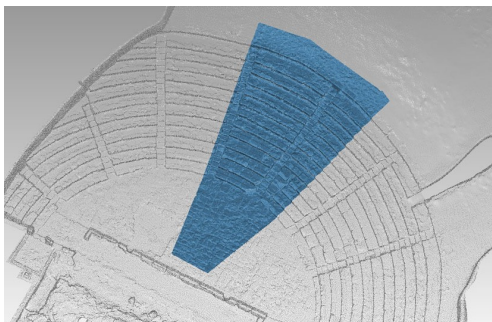


Figura 4 – Porzione di teatro considerata ai fini delle verifiche.

Le verifiche svolte sono state le seguenti:

- A) confronto qualitativo e comparazione analitica tra *mesh* ricavate dalla medesima “nuvola di punti” ma con distinte procedure di triangolazione;
- B) comparazione analitica tra una *mesh* ad alta risoluzione e le sue derivate a differenti percentuali di decimazione.

Le verifiche sono state effettuate per mezzo di algoritmi di analisi che forniscono scostamenti e deviazioni tra entità geometriche nello spazio tramite il software *Geomagic Qualify*.

#### Verifica A

Sono stati applicati due distinti metodi di triangolazione a partire dalla stessa “nuvola di punti” e prodotte due diverse *mesh* (denominate per le finalità dello studio *mesh 1* e *mesh 2*). Il primo metodo, adottato originariamente all’intera gradinata, prevede l’elaborazione di una *mesh* ad alta risoluzione senza impostazione di alcun limite numerico relativo né al numero massimo di triangoli ottenibili né alla spaziatura punti. La superficie prodotta, per la sola porzione di gradinata oggetto della verifica, è costituita da 5.520.951 triangoli. Il secondo metodo prevede, invece, l’impostazione di una spaziatura punti pari a 2 cm (risoluzione richiesta dalla committenza) e l’ottenimento di una superficie di 1.247.772 triangoli. Per entrambe è stato applicato un filtro rumore a priorità di curvatura.

Essendo state generate direttamente da una stessa “nuvola di punti”, le due superfici presentano numerosi “buchi”, triangoli fluttuanti e *spikes*, soprattutto nelle aree a maggiore concentrazione di vegetazione.

Da una prima osservazione le due superfici, per quanto differiscano in risoluzione e dimensione dei rispettivi file, presentano un grado di dettaglio del tutto soddisfacente. Infatti i particolari architettonici meglio definiti sono assolutamente paragonabili ed inoltre non vi sono difformità sostanziali né in corrispondenza degli spigoli né sulle facce dei gradini. Le differenze maggiori riguardano invece forma, dimensione e concentrazione dei “buchi”, oltre a evidenti criticità in quelle aree dove il dato di partenza è sensibilmente più rumoroso.

Il numero di “buchi” sulle due superfici non differisce di molto (728 nella prima, 748 nella seconda); ciononostante, da un semplice accostamento si nota che le dimensioni e i contorni sono dissimili, sebbene molti di essi siano presenti nelle stesse aree (Fig. 5a). Ad una prima osservazione risulta che la *mesh 2*, con passo di 2 cm, si comporta meglio nella definizione dei vuoti: infatti in alcune zone, come ad esempio nella pavimentazione inferiore (Fig. 5b), il numero di “buchi” risulta sensibilmente inferiore rispetto alla *mesh 1*.

Il risultato più interessante, tuttavia, riguarda il modo in cui le due procedure testate si comportano nei confronti di aree più rumorose, dove, nonostante alla “nuvola di punti” di partenza siano stati applicati specifici filtri per l’eliminazione di *outliers*, la presenza eccessiva di punti doppi e disconnessi ha generato triangoli con andamento spaziale irregolare, triangoli sconnessi fra loro e



normali invertite (Fig. 5c). In questo caso il comportamento della prima superficie è nettamente migliore, poiché la scelta iniziale di mantenere una risoluzione elevata ha prodotto, in molte delle aree con presenza di vegetazione, superfici perfettamente chiuse seppur leggermente più rumorose. Di contro, la seconda *mesh* mostra nelle stesse aree una triangolazione più imprecisa accompagnata da numerosi vuoti dal contorno irregolare, i quali risulterebbero difficilmente chiudibili senza una consistente fase di *editing* manuale.

In generale si deduce che un campionamento più denso porta sicuramente ad un dato più uniforme, ma presenta l'inconveniente di un numero più elevato di “buchi” piccoli e sparsi, dovuti alla presenza di numerosi punti ridondanti; mentre un campionamento a risoluzione inferiore (nel nostro caso una spaziatura di 2 cm), nonostante consenta l'eliminazione di piccole lacune, presenta maggiori criticità nelle aree con dato più rumoroso.

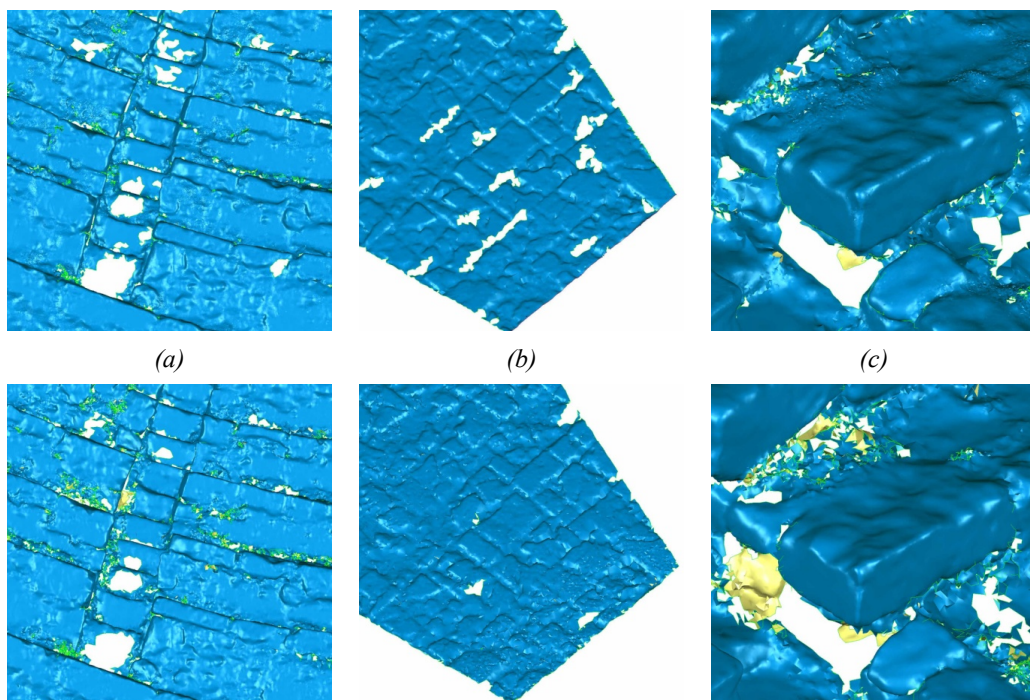


Figura 5 – Confronto tra la “mesh 1” (prima riga) e la “mesh 2” (seconda riga):  
 (a)(b) distribuzione e tipologia dei buchi sulla gradinata e sulla pavimentazione;  
 (c) irregolarità nella triangolazione (triangoli sconnessi, spikes, normali invertite).

Le due *mesh* sono state infine analizzate tramite un apposito algoritmo per la valutazione di scostamenti e deviazioni relative. È stato utilizzato nello specifico il comando “Confronto 3D” del software *Geomagic Qualify*, per valutare sia la distribuzione delle deviazioni tra le due superfici, sia gli scarti quadratici medi rispetto a diverse configurazioni geometriche.

Come modello di riferimento si era inizialmente pensato di utilizzare la porzione con 5.520.951 triangoli; tuttavia per facilitare il confronto analitico si è deciso di ricorrere ad una preventiva decimazione della stessa, in modo da ottenere una risoluzione più bassa senza perdita di dettaglio. Infatti una riduzione, anche elevata, del numero di triangoli consente di ridurre i dati in modo significativo e nello stesso tempo non altera il risultato da un punto di vista geometrico e visivo (Kersten, 2010).

Il confronto è stato così effettuato tra un modello di riferimento con 1.838.683 triangoli (*mesh 1* decimata) e un modello test con 1.247.772 triangoli (*mesh 2*). Il calcolo è stato effettuato secondo due distinte condizioni: deviazione 3D e deviazione planare (rispetto al piano  $xy$ ). In particolare, rispetto alla prima condizione (deviazione 3D), la deviazione standard è pari a  $\pm 0,003$  m, mentre rispetto alla seconda (deviazione planare) risulta pari a  $\pm 0,006$  m.

I modelli risultanti dal test mostrano la distribuzione delle deviazioni superficiali. Innanzitutto, si nota una distribuzione uniforme tra valori positivi e negativi; inoltre in corrispondenza di spigoli o dettagli significativi, gli scarti sono tutti inferiori a 2 mm, valore di per sé assolutamente accettabile, anche in relazione alla scala di rappresentazione considerata di 1:20.

Come era prevedibile i maggiori scarti sono concentrati nelle aree parzialmente occultate o con presenza di vegetazione, dove il dato laser di partenza presenta parecchio rumore e lacune significative (Fig. 6).

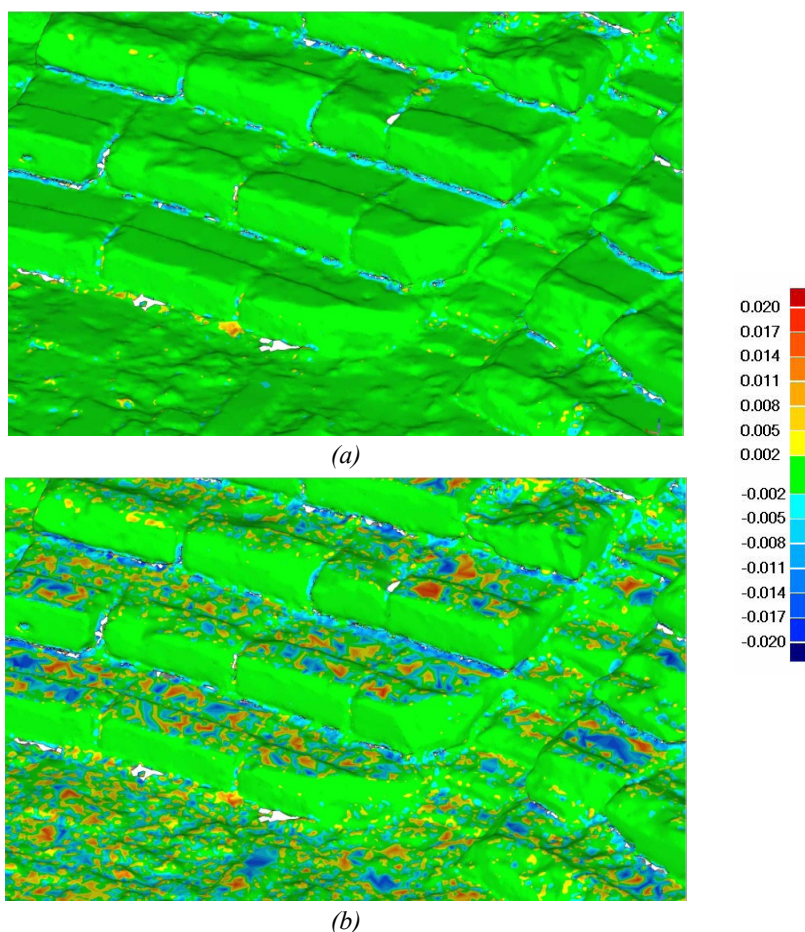


Figura 6 – Modelli risultanti dal confronto 3D effettuato con il software Geomagic Qualify:  
(a) deviazione 3D; (b) deviazione planare.

#### Verifica B

L'esigenza di ottenere elaborati di dettaglio 2D e 3D a partire da una *mesh* finale ad alta risoluzione ha comportato, come già detto, un insieme di operazioni di decimazione.



Ai fini della presente analisi sono state effettuate decimazioni a priorità di curvatura sulla stessa porzione di teatro oggetto della verifica precedente, utilizzando come *mesh* di partenza quella con 1.838.683 triangoli e adottando percentuali progressive di riduzione dal 50% al 90%.

I confronti effettuati seguono le due condizioni già impostate nel test precedente, deviazione 3D e deviazione planare, seppur in questo caso il confronto si basa su *mesh* omogenee, ovvero ottenute da decimazioni progressive dello stesso modello. Come era d'attendersi, l'analisi mostra progressivamente valori più alti delle deviazioni standard, seppur non superiori a 1 mm (Tab. 7).

È interessante soffermarsi sull'osservazione delle aree a maggiore curvatura, dove le superfici presentano una concentrazione maggiore di triangoli. Nonostante un'evidente semplificazione dei dettagli, da un punto di vista numerico la deviazione massima risulta inferiore in ogni caso a 3 mm. Poiché le forme complessivamente vengono mantenute si deduce che una decimazione maggiore, oltre a consentire l'ottenimento di file gestibili, risulta altresì utile per una visualizzazione virtuale del modello.

Per tale motivo nel lavoro svolto è stata elaborato un modello texturizzato fotorealistico, partendo da una *mesh* decimata dell'80%.

| Modello test         | N. triangoli | N. punti analizzati | Deviazione standard |
|----------------------|--------------|---------------------|---------------------|
| Mesh ridotta del 50% | 919.340      | 457.046             | 0.000 m             |
| Mesh ridotta del 80% | 367.736      | 182.971             | 0.001 m             |
| Mesh ridotta del 90% | 183.867      | 91.559              | 0.001 m             |

Tabella 7 – Valori comparativi tra la *mesh* di riferimento (1.838.683 triangoli) e le *mesh* decimate.

## Conclusioni

Dallo studio emerge che, soprattutto in ambito archeologico dove vi è una certa interdipendenza tra natura e costruito, geometria e stato di conservazione, non esiste attualmente un criterio univoco di elaborazione dati laser scanner e di modellazione che renda una strategia operativa più adatta rispetto ad un'altra.

Nel processo di restituzione è necessario ricorrere ad un compromesso tra qualità del risultato e ottenimento di elaborati facilmente gestibili e visualizzabili. Inoltre il modello finale dell'oggetto deve rispondere in termini di precisione e di dettaglio alle tolleranze grafiche delle varie scale di rappresentazione che ci si prefigge di realizzare.

Questi fattori, uniti alle ben note problematiche di gestione dei dati laser scanner da parte dei *software* attualmente in circolazione, spingono l'operatore ad intervenire attraverso soluzioni mirate e differenziate, sia mediante il controllo rigoroso dei parametri di triangolazione, sia mediante procedure di decimazione utili alla riduzione dei dati.

I due esempi di triangolazione testati (dalle quali si sono ottenute le *mesh* 1 e 2), così come il confronto analitico effettuato sulle procedure di decimazione, portano ad un risultato assolutamente paragonabile dal punto di vista qualitativo e metrico in quanto come già visto gli scarti sono minimi anche in funzione della scala ipotizzata (1:20).

Tuttavia i ben noti problemi di gestione dei file pongono la questione di quale approccio sia più soddisfacente nell'economia generale del lavoro in modo da ridurre sensibilmente i tempi di processamento. In base a questa considerazione la *mesh* 2, seppur presenti talune criticità nelle aree con dato più rumoroso, costituisce una superficie maggiormente gestibile. La *mesh* 1 invece, per quanto di risoluzione maggiore e con meno irregolarità nella aree più critiche, necessita come visto di un'ulteriore decimazione, poiché la sua elevata risoluzione iniziale risulta incompatibile per una gestione veloce del file.

Quindi la scelta va effettuata considerando i vantaggi che si possono avere utilizzando, ai fini dell'estrazione degli elaborati richiesti, quei modelli in cui ad una riduzione e semplificazione dei dati non corrisponda una perdita del livello di dettaglio.

### **Riferimenti bibliografici**

- Bitelli G. (2002), "Moderne tecniche e strumentazioni per il rilievo dei beni culturali", *Atti 6ª Conferenza Nazionale ASITA, 5-8 novembre 2002*, Perugia, pp. 16.
- Bornaz L., Rinaudo F. (2004), "Terrestrial laser scanner data processing", *Atti 20º Congresso ISPRS, 12-23 luglio 2004*, Istanbul, pp. 6.
- Girardi S., Cavulli F., Voltolini F., Rizzi A., Remondino F., Pedrotti A., Gonzo L. (2007), "Laser scanner e fotografia digitale per la modellazione e l'analisi di siti archeologici: il caso studio del Riparo Gaban", *Atti 11ª Conferenza Nazionale ASITA, 6-9 novembre 2007*, Torino, pp. 6.
- Giuffrida A., Liuzzo M., Santagati C., Andreozzi L. (2005), "The laser scanner for archaeological survey: Le Terme dell'Indirizzo in Catania", *Atti 20º Simposio Internazionale CIPA, 26 settembre – 1 ottobre 2005*, Torino, pp. 6.
- González Aguilera D., Gómez Lahoz J., Muñoz Nieto A.L., Herrero Pascual J.S. (2007), "Recording and virtual modeling of Roman villa through laserscanning", *Atti 20º Simposio Internazionale CIPA, 1-6 ottobre 2007*, Atene, pp. 5.
- Kersten T.P. (2010), "3D Scanning and Modelling of the Bismark Monument by Terrestrial laser scanning for Integration into a 3D City Model of Hamburg", *Digital Heritage, 3rd International Conference EuroMed, Lemessos, Cyprus, November 8-13, 2010. Proceedings*, Ioannides M., Fellner D., Georgopoulos A., Hadjimitsis D. (Eds.), Springer link, Lecture Notes in Computer Science, Volume 6436, pp. 179-192.
- Lo Brutto M., Spera M.G. (2011), "Image-based and range-based 3D modelling of archaeological cultural heritage: the Talamon of the Temple of Olympian Zeus in Agrigento (Italy)", *4º Workshop Internazionale ISPRS, 2-4 marzo 2011*, Trento, pp. 8.
- Nothegger C., Dorninger P., "Automated modeling of surface detail from point clouds of historical objects", *Atti 20º Simposio Internazionale CIPA, 1-6 ottobre 2007*, Atene, pp. 6.
- Tucci G., Bonora V. (2010), "Il rilievo della Basilica del Santo Sepolcro a Gerusalemme", *Atti 14ª Conferenza Nazionale ASITA, 9-12 novembre 2010*, Brescia, pp. 1643-1648.

## **Lo sviluppo del tessuto urbano del Comune di Roma dal dopoguerra a oggi**

Andrea Di Somma

Universidad Complutense de Madrid. Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física  
C/ Profesor Aranguren, s/n, Ciudad Universitaria 28040, Madrid, Tel. 0034-913945955, Fax. 0034-913945963,  
e-mail: andreadisomma@libero.it; mredondo@ghis.ucm.es

### **Riassunto**

Il presente contributo analizza i meccanismi che sono alla base delle trasformazioni delle città e i modelli utili per l'interpretazione dello sviluppo delle urbanizzazioni moderne. Questa è un'operazione molto complessa che si sviluppa sulle interazioni tra diverse discipline, anche se il punto di partenza rimane l'osservazione della struttura urbana nel tempo.

I cambiamenti che una città subisce nella propria struttura e le nuove forme di insediamento nelle aree urbane hanno reso necessari studi particolareggiati sui meccanismi evolutivi al fine di spiegare le modalità di costituzione dei nuovi agglomerati anche attraverso l'utilizzo di strumenti tecnologici per l'analisi del territorio.

Nel secolo passato si è assistito ad una serie di cambiamenti morfologici nelle grandi città europee, passando da una città storica di tipo compatta, ad una città diffusa, sempre riunita attorno ad un nucleo centrale ma più ramificata e dispersa nel territorio spesso in modo irrazionale e disordinato.

Questo lavoro ha previsto una profonda analisi dell'uso del suolo nel Comune di Roma finalizzata all'individuazione delle principali modifiche che hanno caratterizzato il territorio oggetto di studio dal dopoguerra a oggi.

Partendo dalle diverse fasi dello sviluppo di Roma negli ultimi sessanta anni, sono stati esaminati i tessuti residenziali periferici al fine di analizzare il rapporto tra lo spazio urbano e il paesaggio metropolitano, incentrando la questione sui piani edilizi che hanno fatto la storia della capitale e sulle moderne figure architettoniche dell'housing sociale presenti nei nuovi quartieri romani.

Infine sono state proposte alcune ipotesi sulle cause del cambio dell'uso del suolo romano e sulle tendenze future di questo territorio tanto eterogeneo quanto in continua evoluzione.

### **Abstract**

This article analyzes the fundamental mechanisms of the transformations of cities and the use of interpretation models for modern urbanization development. This complex process depends on interactions among different disciplines. The starting point remains the observation of the urban structure in the time.

Changes happening in the structure of the cities and the new forms of settlement in urban areas, made necessary to study evolutionary processes to explain the ways of constitution of new agglomerations, through the use of technological tools for the analysis of the territory.

We assisted, in the past century, to a series of morphological changes regarding great European cities. They evolved from a compact historical cities to a wide spread cities. A wide spread city grows around a central nucleus in a much branched way. This often results in an irrational expansion.

This paper presents a deep analysis of the use of land in the Municipality of Rome. It is focused to find the major changes characterizing the territory from the post-war period until today.

The study starts analyzing the different phases of the development of Rome in the last 60 years. Peripheral residential fabrics have been examined with the purpose of analyzing the relationship between urban space and metropolitan landscape. The study focuses on the building plans constituting the history of the capital and on the architectural figures of social housing in new districts. Finally the work states some hypotheses about the causes of change in the use of the Roman land and about the future tendencies of this heterogeneous territory, in continuous evolution.

### Area di studio

Il Comune di Roma è il più popoloso ed esteso d'Italia e con i suoi 1.285,306 Km<sup>2</sup> è il primo comune europeo per estensione territoriale<sup>1</sup> ([www.comune.roma.it](http://www.comune.roma.it)). La sua superficie è maggiore della somma di nove tra le più importanti città italiane: Milano, Torino, Genova, Bologna, Firenze, Napoli, Bari, Palermo e Cagliari. In particolare Roma è estesa sette volte Milano e circa undici volte Napoli ([www.comune.roma.it](http://www.comune.roma.it)).

Amministrativamente il Comune di Roma è composto da 19 Municipi che possiedono un'autonomia gestionale e finanziaria (Fig. 1). I Municipi<sup>2</sup>, che sono stati istituiti nel maggio del 1972, erano inizialmente 20 ma dopo un referendum popolare culminato con la legge regionale n.25 del 6 marzo 1992, la XIV Circoscrizione si divise da Roma per diventare Comune di Fiumicino.

Anteriormente il territorio comunale era suddiviso toponomasticamente secondo la normativa del Piano Regolatore Saintjust-Nathan del 1909: 116 comprensori ordinati in quattro gruppi: i 22 rioni, localizzati all'interno delle Mura Aureliane, i 35 quartieri predisposti nei pressi delle Mura Aureliane, i 6 Suburbi e le 53 zone che costituiscono l'Agro Romano, la grande area rurale che circonda Roma e che negli anni successivi al secondo conflitto bellico è stata soggetta a fenomeni di edilizia spontanea, povera ed abusiva, che generò alcune delle principali borgate della capitale.

Dal 1977 è presente una ulteriore divisione: i 19 Municipi sono ripartiti in 155 zone urbanistiche<sup>3</sup>, alcune delle quali sono state esaminate nel paragrafo dedicato analisi urbanistica.

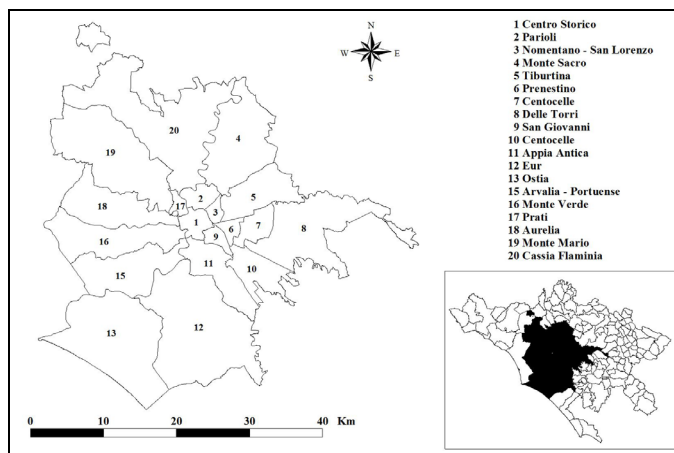


Figura 1 – Municipi di Roma. Elaborazione propria.

<sup>1</sup> Londra ha una superficie maggiore (1.579 Km<sup>2</sup>) ma possiede lo status di area amministrativa e regione e non di Comune. Inoltre, a livello europeo, il Comune di Roma è equivalente alla somma di nove tra le maggiori capitali europee: Amsterdam, Atene, Berna, Bruxelles, Copenaghen, Dublino, Lisbona, Parigi e Vienna ([www.comune.roma.it](http://www.comune.roma.it)).

<sup>2</sup> In origine si chiamavano Circoscrizioni. Il termine Municipio è subentrato con deliberazione del Consiglio Comunale n.22 del 19 gennaio 2001 ([www.comune.roma.it](http://www.comune.roma.it)).

<sup>3</sup> Aree omogenee da un punto di vista urbanistico.

### Analisi demografica

Per comprendere meglio la pianificazione urbana di Roma e la sua crescita è necessario considerare tali fenomeni in un intervallo temporale significativo, esaminando anche altri elementi che possano aiutare ad analizzare le effettive dinamiche evolutive della città, come ad esempio il fattore demografico. Dal primo censimento del 1871 (213.633 abitanti) la popolazione del Comune di Roma è aumentata di circa il 1.300%, arrivando, nel 1981 a superare le 2.800.000 unità.

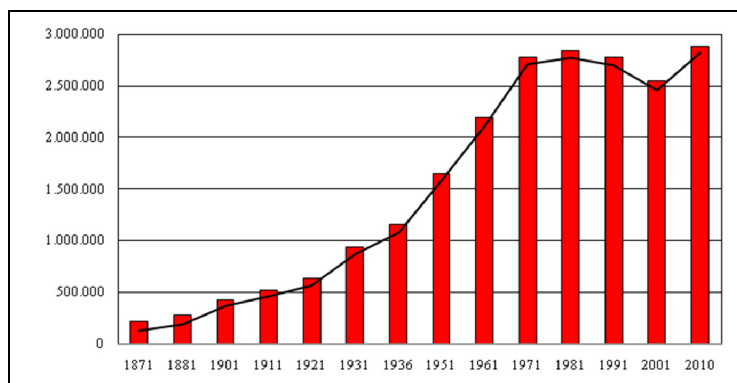


Figura 2 – Evoluzione della popolazione residente nel Comune di Roma dal 1871 al 2010. Elaborazione propria su dati Istat.

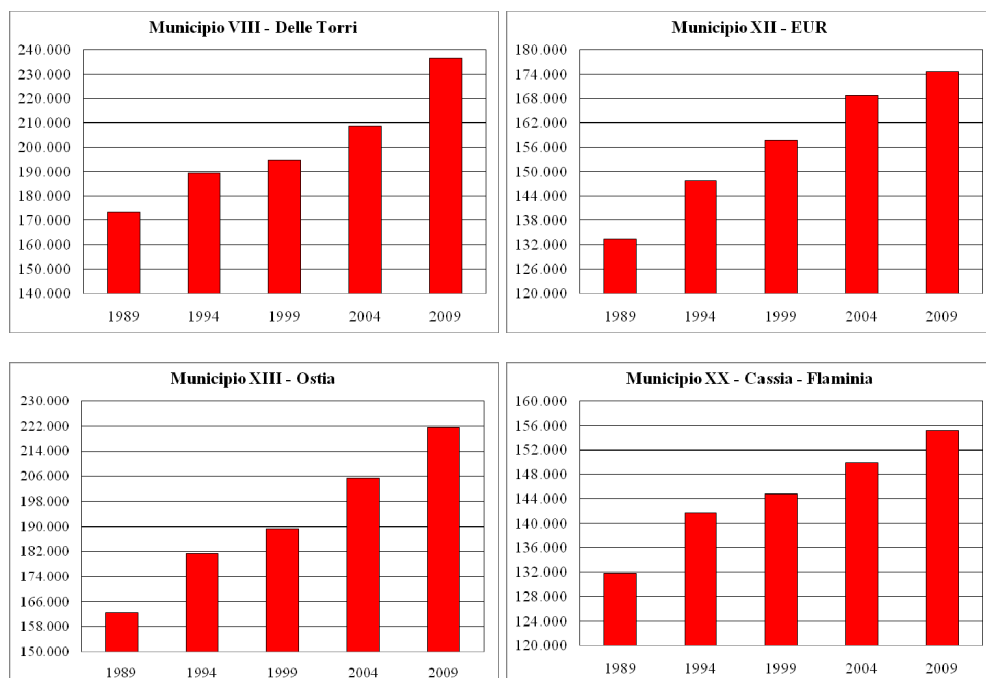


Figura 3 – Andamenti della popolazione residente nei Municipi VIII, XII, XIII e XX nel periodo 1989-2009. Elaborazione propria su dati Istat.

Nell'ultimo ventennio del XX secolo si è verificata una lenta ma costante diminuzione della popolazione residente; tuttavia nel nuovo millennio il processo di crescita è ripreso e nell'anno 2010 gli abitanti del Comune di Roma erano 2.882.250 con una densità abitativa totale di 2.244 ab/km<sup>2</sup>.

L'evoluzione della popolazione nei singoli Municipi non sempre coincide con l'andamento generale del Comune. I Municipi situati nell'area metropolitana centrale della città (II Parioli, III Nomentano - San Lorenzo, XVI Monte Verde, XVII Prati) hanno fatto registrare nel periodo 1989-2009 una diminuzione della popolazione in controtendenza con i risultati generali. Nello stesso lasso temporale i Municipi del primo anello periferico, (V Tiburtina, VI Prenestino, VII Centocelle, IX San Giovanni, X Cinecittà), si sono stabilizzati e la popolazione residente è rimasta per lo più costante. Rilevanti aumenti (vedi Figura 3) sono stati riscontrati nei Municipi coinvolti nei fenomeni di ricomposizione urbana e di rigenerazione delle unità edilizie (VIII Delle Torri, XII EUR, XIII Ostia, XX Cassia - Flaminia).

### **Lo spazio urbano e il paesaggio metropolitano**

La crescita demografica avvenuta a Roma dall'Unità d'Italia ad oggi è progredita in maniera esponenziale e con essa l'espansione urbanistica: il fronte della città è in continuo avanzamento e la periferia residenziale della capitale si è protratta verso l'esterno (Caudo, 2005), inglobando terreni agricoli e zone paludose.

In principio il centro di Roma era formato da vigne, orti e ville. Non appena Roma fu istituita capitale d'Italia, i proprietari delle ville iniziarono un processo di lottizzazione e alcuni imprenditori<sup>4</sup> acquistarono i terreni dando vita alla prima espansione dell'edilizia pubblica romana. Lo Stato stipulò una serie di convenzioni tramite le quali si assicurava una porzione dei terreni dei privati al fine di realizzare delle opere di urbanizzazione, principalmente le strade e le fognature.

Il primo Piano Regolatore di Roma, proposto dall'Ingegnere Alessandro Viviani e approvato dal Sindaco Luigi PIANCIANI il 18 Ottobre 1873, prevedeva la costruzione di nuovi quartieri (all'interno delle Mura Aureliane) pronti ad accogliere 150.000 abitanti e la riqualificazione di Testaccio come area industriale.

Sotto il profilo dell'edilizia molto più importante fu il già citato Piano Regolatore Saintjust-Nathan del 1909 che determinò le due principali tipologie edilizie: il fabbricato, che non doveva superare i 24 metri di altezza e il villino, il cui termine fu modificato negli anni Venti in palazzina (Accasto et al., 1971).

Durante il periodo fascista si favorì una riqualificazione del centro intesa come riproposizione dei fasti imperiali, in quanto Mussolini intendeva isolare simbolicamente i monumenti capitolini in modo che potessero, come egli stesso sosteneva, *"giganteggiare nella necessaria solitudine"* (Benevolo, 1992).

La prima legge nazionale del dopoguerra destinata all'edilizia pubblica fu la Legge 28 febbraio 1949 – INA-Casa nella quale si parla di *"progetto di legge per incrementare l'occupazione operaia, agevolando la costruzione di case per i lavoratori"*. Questo piano d'intervento a Roma riguardò essenzialmente i quartieri in forte espansione nelle zone limitrofe al centro storico (Tiburtino, Tuscolano, Valco San Paolo) e alcuni quartieri periferici geograficamente dislocati ma discretamente collegati al centro della città (Stella Polare e Torre Spaccata).

Negli anni Cinquanta, grazie ai fondi americani per gli aiuti ai profughi delle zone di guerra, venne costituito l'UNRRA-CASAS (United Nations Relief Rehabilitation Administration – Comitato Assistenza Ai Senzatetto). I pochi soldi a disposizione servirono per una parziale riqualificazione delle borgate di San Basilio e di Villa Gordiani (Rendina, 2007).

Le Olimpiadi del 1960 rappresentarono per Roma non solo l'occasione di riportare gli occhi del mondo sulla città eterna, ma determinarono numerosi interventi di urbanistica e di edilizia che modificarono l'assetto strategico della città. Gli alloggi destinati agli atleti furono costruiti al

---

<sup>4</sup> Si trattava di investitori privati italiani, francesi e belgi.



Villaggio Olimpico in zona Flaminio e a Decima<sup>5</sup>, vicino l'EUR. Questi ultimi, furono pensati con il preciso obiettivo di essere destinati, a Giochi conclusi, agli impiegati statali<sup>6</sup>: in quegli anni era in atto una sorta di dislocamento dei centri direzionali verso la periferia e l'EUR era divenuto il centro ministeriale di Roma.

La legge 18 aprile 1962, n.167 – Disposizione per favorire l'acquisizione di aree per l'edilizia economica e popolare – affidò alle amministrazioni comunali il compito di provvedere all'individuazione degli ambiti da destinare alla realizzazione di edilizia popolare.

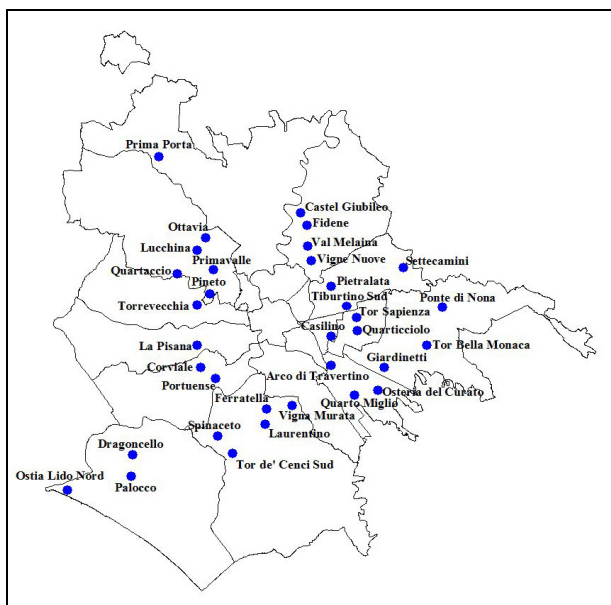


Figura 4 – I quartieri del primo PEEP, 1964. Elaborazione propria.

Il piano aveva una durata ventennale ed enormi furono le difficoltà che si protrassero in questo lungo arco temporale, tutte legate a ritardi nei finanziamenti e ad una poco idonea copertura finanziaria. Il primo PEEP<sup>7</sup> (Piano per l'Edilizia Economica Popolare) fu approvato nel 1964 e prevedeva la realizzazione di 712.000 stanze, che furono ridotte successivamente a circa 474.000 (Comune di Roma, 1981). Nel 1985, non essendo stati portati a termine gli interventi iniziali, l'amministrazione comunale dispose un secondo PEEP<sup>8</sup> che subì però alcune varianti integrative rispetto al precedente (Comune di Roma, 1986).

Nel complesso, dal 1964 ad oggi, grazie alle leggi sulla casa e al decreto sugli standard urbanistici, il Comune di Roma ha costruito su iniziativa pubblica circa 7.000 ha. di città con poco meno di 700.000 stanze e aree per le attrezzature pubbliche che ammontano a poco meno di 2.900 ha. (Caudo, 2005).

<sup>5</sup> Un'area a Sud della capitale mal collegata con il centro cittadino.

<sup>6</sup> L'intervento fu commissionato dall'INCIS (Istituto Nazionale per le Case degli Impiegati Statali).

<sup>7</sup> Nel primo PEEP fu data particolare attenzione alla dimensione e alla crescita, non tralasciando i servizi pubblici per i cittadini finalizzati al miglioramento della qualità della vita. Quartieri che hanno subito modifiche importanti in questo periodo furono Corviale, Laurentino, Spinaceto, Tiburtino Sud, Tor Bella Monaca, Tor de' Cenci, Torrevecchia, Val Melaina e Vigne Nuove.

<sup>8</sup> Tra le principali aree interessate dal secondo PEEP ci furono Anagnina, Casal Monastero, Torracchia e Trigoria.

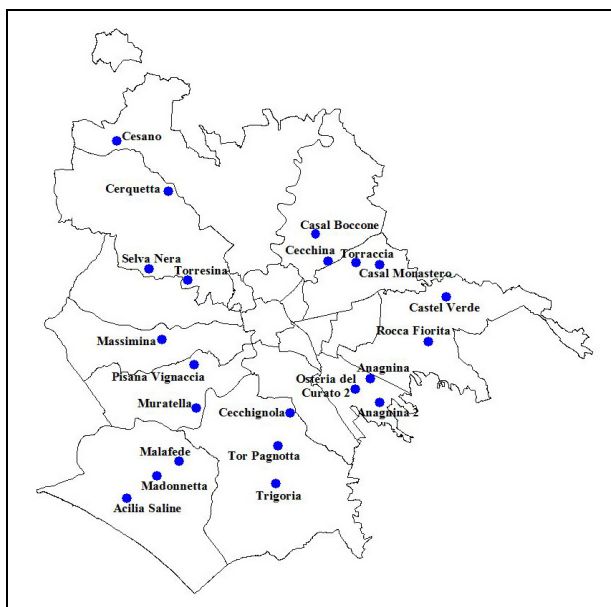


Figura 5 – I quartieri del secondo PEEP, 1987. Elaborazione propria.

### Analisi urbanistica

Con l'ausilio del CORINE Land Cover<sup>9</sup> è stato possibile eseguire un'analisi approfondita sull'uso del suolo del Comune di Roma, per determinare quantitativamente le principali tipologie di copertura nell'area di studio aggiornate all'anno 2006 (Figura 6). Degli oltre 128.000 ettari<sup>10</sup> che costituiscono l'area comunale della capitale, quasi 40.000 sono occupati da superfici artificiali, determinando l'area metropolitana e le aree periferiche interne ed esterne al Grande Raccordo Anulare, nonché l'area litoranea di Ostia.

Nella Figura 7 è riportata la carta relativa alle superfici artificiali, aggiornata all'anno 2006. L'odierna struttura urbana di Roma prevede un nucleo centrale in costante espansione verso la periferia, con le strutture residenziali e le attività commerciali in aumento su tutto il territorio cittadino. Tuttavia il tessuto urbano, soprattutto nelle aree periferiche, è prevalentemente frammentato: gli edifici, la viabilità e le superfici a copertura artificiale coesistono con superfici coperte da vegetazione e con suolo nudo, che occupano in maniera discontinua aree non trascurabili.

Le zone residenziali a tessuto continuo<sup>11</sup> (20,78%) sono ubicate nel centro storico e in alcune aree al di fuori delle Mura Aureliane. Sono inseriti in questo contesto quasi tutti i 22 rioni di Roma e la maggior parte dei quartieri storici della capitale (Appio-Latino, Flaminio, Monte Sacro, Parioli, Salario, Trieste, Trionfale).

Le zone residenziali a tessuto discontinuo<sup>12</sup> (54,60%) sono, tra le categorie di uso del suolo di ambito urbano, le più rilevanti. Fanno parte di questa categoria i tessuti residenziali della cintura

<sup>9</sup> Il progetto CORINE Land Cover (CLC) è nato a livello europeo specificamente per il rilevamento e il monitoraggio delle caratteristiche di copertura e uso del territorio ([www.sinanet.isprambiente.it](http://www.sinanet.isprambiente.it)).

<sup>10</sup> Nella maggior parte del territorio comunale (61,15%) sono presenti le superfici agricole. Questo dato rende Roma il più grande comune agricolo d'Europa ([www.comune.roma.it](http://www.comune.roma.it)).

<sup>11</sup> Spazi ricoperti artificialmente in cui gli edifici e la viabilità occupano più dell'80% della superficie totale.

<sup>12</sup> Spazi ricoperti artificialmente in cui gli edifici e la viabilità occupano tra il 50% e l'80% della superficie totale.

periferica di Roma che si sono sviluppati negli ultimi sessant'anni e che si possono suddividere in quattro tipologie: quartieri storici, borgate ufficiali, borgate spontanee e nuovi quartieri.

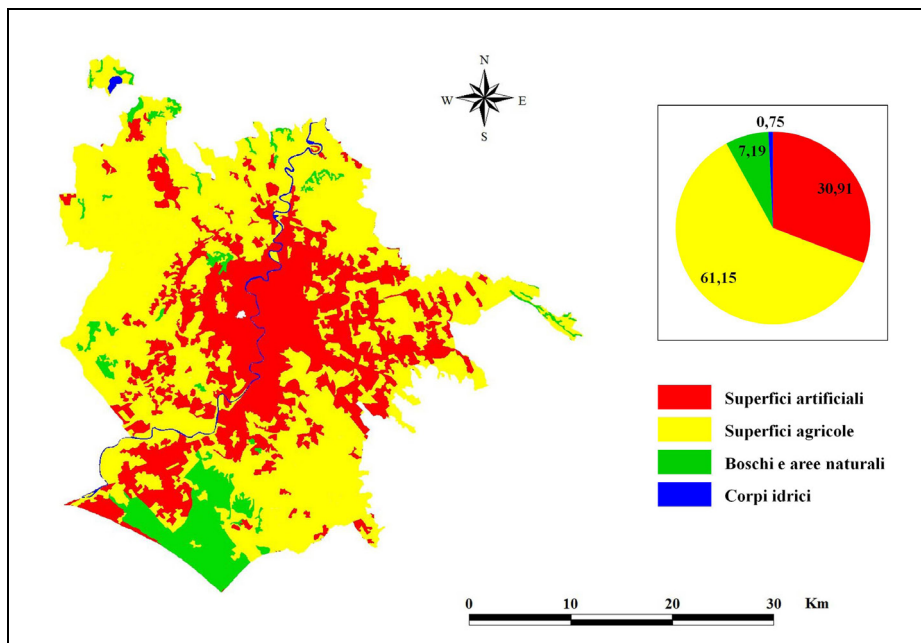


Figura 6 – Uso del suolo nel Comune di Roma, 2006. Elaborazione propria.

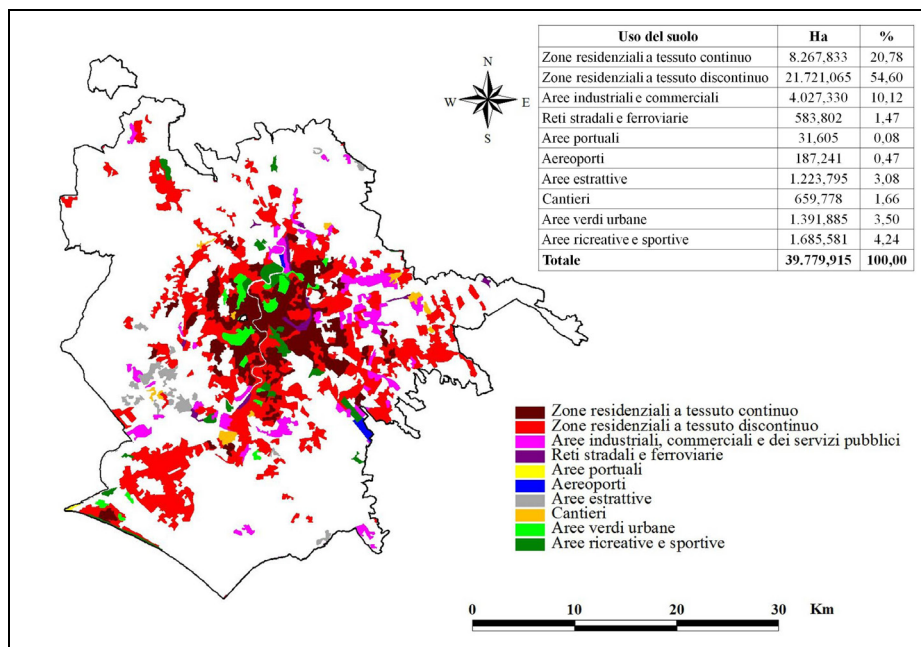


Figura 7 – Dettaglio delle superfici artificiali nel Comune di Roma, 2006. Elaborazione propria.

### **I quartieri storici**

In primo luogo i quartieri istituiti nei primi anni del XX secolo come il Tiburtino, il Tuscolano e Ostiense che dopo la fine della II Guerra Mondiale furono soggetti ad interventi specifici di edilizia pubblica finalizzati all'aumento delle case popolari destinate alla classe operaia<sup>13</sup>.

### **Le borgate ufficiali**

In secondo luogo le dodici borgate ufficiali<sup>14</sup>, nate in epoca fascista per accogliere i residenti delle case del Centro Storico che furono demolite per restituire uno sfarzo imperiale alla città. "Vittime" di questi trasferimenti furono anche gli artigiani e i bottegai, costretti ad abbandonare i loro laboratori-bottega, emarginati dalla vita cittadina e considerati come parte integrante della vita rurale (Ferrarotti, 1970). Anonime, scadenti<sup>15</sup> e prive di un centro di aggregazione sociale, le borgate ufficiali hanno iniziato il loro processo di recupero negli anni Sessanta attraverso mirati interventi di recupero che, in alcuni casi, hanno portato ad una ricostruzione totale degli edifici.



*Figura 8 – Veduta aerea della borgata ufficiale Tiburtino III nel 1940.  
In alto a sinistra è riconoscibile la borgata di Pietralata. Fonte: www.ascas.it*

### **Le borgate spontanee**

Fino alla metà degli anni Settanta erano presenti nel territorio capitolino le borgate spontanee<sup>16</sup>, costruite con materiali di scarsa qualità, sprovviste di servizi igienici e spesso al limite dell'abitabilità (Carpaneto et al., 2007). È il caso dell'Acquedotto Felice, dell'Alessandrino, del Borghetto Latino, del Borghetto Prenestino, del Mandrione, del Quadraro, di Tor Bella Monaca, di Torre Maura e di Torre Spaccata. Luoghi nei quali prima delle politiche per la casa degli anni Settanta e Ottanta si viveva senz'acqua (che veniva raccolta nei pozzi comunali), con l'elettricità che veniva distribuita per non più di cinque ore al giorno e con una totale assenza di igiene, ma che ora sono state inserite in un contesto urbano omogeneo e, per la maggior parte dei casi, rivalutate sotto il profilo urbanistico.

---

<sup>13</sup> Legge 28 febbraio 1949 – INA-Casa: piano di intervento dello stato per realizzare edilizia pubblica su tutto il territorio italiano.

<sup>14</sup> Acilia, Pietralata, Prenestina, Primavalle, Quarticciolo, San Basilio, Tiburtino III, Tor Marancia, Trullo, Tufello, Val Melaina, Villa Gordiani.

<sup>15</sup> Le "case" erano delle capanne murate ad un solo piano prive di servizi igienici interni e con l'ingresso collegato direttamente alla strada. Il coefficiente di affollamento di queste abitazioni era del 4,47 persone per vano, includendo tra i vani anche le cucine (IACP di Roma, 1953).

<sup>16</sup> Situate solitamente in zone confinanti le borgate ufficiali, vi risiedevano i lavoratori che non possedevano il diritto di residenza insieme alla popolazione romana più povera e disagiata. Secondo stime non ufficiali, tra la fine degli anni Quaranta e i primi anni Sessanta, esistevano 57 borgate spontanee nelle quali vivevano tra le 75.000 e le 150.000 persone.

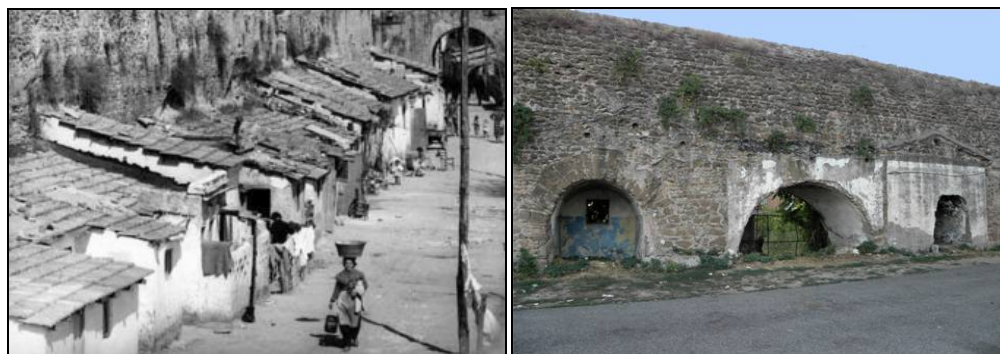


Figura 9 – Foto sx: Borgata Mandrione negli anni Cinquanta. Fonte: [www.pierpaolopasolini.eu](http://www.pierpaolopasolini.eu). Foto dx: Borgata Mandrione oggi<sup>17</sup>. Foto di Andrea Di Somma.

### I nuovi quartieri

Tra le zone residenziali a tessuto discontinuo, si inseriscono anche i nuovi quartieri periferici caratterizzati dal fatto di essere delle piccole città all'interno della città stessa. Sorti in aree dismesse o in terreni agricoli divenuti edificabili di recente, possiedono tutti peculiarità morfologiche simili: sono zone residenziali di medio-alto livello, indipendenti dal centro di Roma, costruite secondo criteri moderni ed innovativi e possono ospitare dalle 30.000 alle 70.000 unità. Il cuore di queste piccole città è sempre un grande centro commerciale che ospita un supermercato e negozi in numero variabile tra gli 80 e i 200, rispondenti a qualunque tipologia di necessità e servizio. Uno spazio importante è destinato alle aree verdi urbane e ai centri ricreativi per i bambini. Altro fattore rilevante sono i parcheggi, presenti sia in prossimità del centro commerciale sia in strutture apposite, quasi sempre sotterranee. Tra i nuovi quartieri romani in fase di costruzione che corrispondono alle caratteristiche esposte poc'anzi sono riportati tre degli esempi più significativi:

**Ponte di Nona:** il quartiere è situato tra le due strade consolari Via Collatina e Via Prenestina ed è confinante con la vecchia borgata spontanea Villaggio Falcone. Nel 2002 sono iniziati i lavori per la costruzione di nuovi edifici ad uso abitativo nei quali, attualmente, trovano alloggio 20.000 abitanti<sup>18</sup>. Fino alla metà degli anni Novanta questi terreni erano destinati esclusivamente ad un uso agricolo. Nel marzo del 2007 è stato inaugurato il centro commerciale Roma Est, uno tra i più grandi d'Europa e che dispone di tutti i generi di servizi.



Figura 10 – Ponte di Nona, 2010. Foto di Andrea Di Somma.

Uno dei problemi principali per gli abitanti della zona è il traffico, essendo le Vie Collatina e Prenestina tra le più intasate della capitale: l'autobus 055 collega Ponte di Nona alla stazione

<sup>17</sup> L'intera zona era stata occupata dagli sfollati del bombardamento di San Lorenzo del 1943 che avevano ricavato delle case "provvisorie" all'interno dell'Acquedotto Felice.

<sup>18</sup> A lavori ultimati troveranno alloggio oltre 50.000 unità.



ferroviaria di Lunghezza dalla quale si può raggiungere la stazione Roma Tiburtina in circa mezzora.

**Mezzocammino:** un nuovo quartiere di 190 ettari costruito tra la Via Cristoforo Colombo, la Via Ostiense e il Grande Raccordo Anulare il cui nome deriva dalla sua posizione: esso si trova a metà del cammino tra la foce del Tevere e il centro di Roma. Il quartiere è stato progettato con criteri all'avanguardia, offrendo una particolare attenzione alle aree verdi, pedonali e ciclabili<sup>19</sup>. È prevista la presenza di aree socio-culturali, educative e sportive mentre il nucleo commerciale principale sarà il centro commerciale Euroma 2, situato a 1 km di distanza dal centro del quartiere. I lavori per la costruzione degli edifici e delle aree verdi sono in via di definizione. La bassa densità di abitazioni, l'elevata presenza di parchi, aree sportive, strade larghe e comodi parcheggi rendono Mezzocammino il prototipo dei nuovi quartieri residenziali romani del 2000.



*Figura 11 – Mezzocammino, 2010. Zone in costruzione. Foto dx di Andrea Di Somma.  
Foto sx: [www.mezzocammino.it](http://www.mezzocammino.it).*

**Parco delle Sabine:** situato in prossimità del centro commerciale Porta di Roma, nel quartiere Bufalotta, il Parco delle Sabine rappresenta una delle più importanti iniziative di trasformazione urbana realizzate in Italia<sup>20</sup>. Intorno al centro commerciale è in costruzione il Colle Salario, un nuovo quartiere attualmente in fase embrionale. Il Parco delle Sabine sarà il nucleo verde del progetto, attraversato da una sola strada asfaltata e da alcune piste ciclabili e pedonali. Al suo interno saranno presenti aree attrezzate e centri sportivi amministrati da società private che si occuperanno della manutenzione del parco.



*Figura 12 – Parco delle Sabine, 2010. Zone in costruzione. Foto di Andrea Di Somma.*

<sup>19</sup> È in costruzione un parco centrale di 145.000 m<sup>2</sup> contenente un anfiteatro e un lago artificiale e altri 5 piccoli parchi.

<sup>20</sup> Quest'area è sempre stata esclusivamente ad uso agricolo.



## Conclusioni

Non è facile determinare se queste politiche di trasformazione urbana hanno portato a effettivi miglioramenti della situazione urbanistica di Roma o se questi nuovi quartieri indipendenti sono il riflesso del malcostume romano di speculazione edilizia dettato dal continuo lievitare dei prezzi nel mercato immobiliare. Tuttavia questi luoghi, pur rimanendo esclusi dai servizi sociali e culturali della città, accolgono le giovani famiglie romane che si mescolano con gli immigrati, insieme ai quali condividono la vita di quartiere.

## Bibliografia

- Accasto G, Fraticelli V, Nicolini R. (1971), *L'architettura di Roma capitale 1870-1970*, Golem, Roma
- Benevolo L. (1992), *Roma dal 1870 al 1990*, Edizioni Laterza, Bari
- Carpaneto R, Gerindi S, Rossi A. (2007), *Pasolini e le borgate – Storia sociale della casa a Roma*, Associazione Culturale Aldo Tozzetti, Roma
- Caudo G. (2005), “Interventi di edilizia sociale complementari all’edilizia residenziale pubblica”, *Atti del Convegno “La casa possibile”*, Roma
- Comune di Roma (1981), *Il Piano per l’Edilizia Economica e Popolare*, USPR, Roma
- Comune di Roma (1986), *Il secondo PEEP di Roma*, a cura di A. M. Leone, USPR, Roma
- Comune di Roma (2008), *Le metropoli della città*, Ufficio di Statistica e Censimento. Sistema Statistico Nazionale, Roma
- Ferrarotti F. (1970), *Roma da capitale a periferia*, Edizioni Laterza, Bari
- IACP di Roma (1953), *Cinquant’anni di vita dell’Istituto Autonomo per le Case Popolari della Provincia di Roma*, IACP, Roma
- Galluccio F. (1998) *Il ritaglio impossibile: lettura storico-geografica delle variazioni territoriali del Lazio dal 1871 al 1991*. DEI Tipologia del Genio Civile, Roma.
- Heymann Y. (1994) *Corine Land Cover: Technical guide*. Office for Official Publications of the European Commission, Lussemburgo
- ISPRA (2006) *La realizzazione in Italia del progetto Corine Land Cover 2006*, ISPRA, Roma
- Legge 18 aprile 1962 n. 167 - *Disposizioni per favorire l’acquisizione di aree fabbricabili per l’edilizia economica e popolare*.
- Mezzapesa S. (1966), *Planimetria di Roma. Suburbio. Agro Romano*, Istituto Cartografico Italiano, Roma
- Piano Regolatore Generale (2008), *Elaborati prescrittivi e selezione degli elaborati gestionali*, Dipartimento alle Politiche della Programmazione e Pianificazione del Territorio, Comune di Roma
- Piano Regolatore Generale (2003), *Elaborati descrittivi, elaborati indicativi ed elaborati per la comunicazione*, Dipartimento alle Politiche della Programmazione e Pianificazione del Territorio, Comune di Roma
- Rendina C. (2007), *Enciclopedia di Roma*, Newton Compton, Roma
- Rendina C. (2007), *Roma. Ieri, oggi e domani*, Vol. IV, Newton Compton, Roma
- Vidotto V. (2001), *Roma contemporanea*, Edizioni Laterza, Bari
- [www.ascas.it](http://www.ascas.it)
- [www.atac.roma.it](http://www.atac.roma.it)
- [www.comune.roma.it](http://www.comune.roma.it)
- [www.demo.istat.it](http://www.demo.istat.it)
- [www.istat.it](http://www.istat.it)
- [www.laboratorioroma.it](http://www.laboratorioroma.it)
- [www.mezzocammino.it](http://www.mezzocammino.it)
- [www.miniambiente.it](http://www.miniambiente.it)
- [www.pierpaolopasolini.it](http://www.pierpaolopasolini.it)
- [www.romanatura.roma.it](http://www.romanatura.roma.it)
- [www.sinanet.isprambiente.it](http://www.sinanet.isprambiente.it)
- [www.turismoroma.it](http://www.turismoroma.it)
- [www.urbanistica.comune.roma.it](http://www.urbanistica.comune.roma.it)



## **Applicazione dei laser scanner terrestri in campo agro-forestale e ambientale**

Pierpaolo Duce, Roberto Ferrara, Bachisio Arca

Istituto di Biometeorologia, Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR Ibimet), Traversa La Crucca 3  
07100 Sassari, Tel. 079 2841501, Fax 079 2841599, e-mail (duce, ferrara, arca)@ibimet.cnr.it

### **Riassunto**

Le tecniche di laser scanning terrestre suscitano un interesse sempre più crescente sia in campo ambientale sia in campo agro-forestale in quanto consentono un'acquisizione rapida e affidabile di nuvole di punti 3D in grado di rappresentare tridimensionalmente gli oggetti rilevati. In un lasso di tempo relativamente breve, tali tecniche hanno aperto la strada ad un ampio spettro di applicazioni in pieno campo. Al di là della misura interattiva di nuvole georeferenziate di punti, le tecniche per il rilevamento automatizzato di oggetti, la determinazione delle loro caratteristiche geometriche e l'analisi della risposta del segnale laser rappresentano temi di ricerca prioritari. L'elevata qualità delle nuvole di punti 3D generate dai sistemi di laser scanning insieme alla possibilità di automatizzare le successive post-elaborazioni dei dati hanno esteso il potenziale applicativo dei laser scanner terrestri anche ai settori ambientali e agro-forestali.

Questo contributo illustra innanzitutto lo stato dell'arte dei sistemi laser scanner terrestri dal punto di vista tecnologico e discute le diverse soluzioni tecnologiche e i diversi parametri di sistema in relazione alle possibili applicazioni in campo ambientale e forestale.

Nella seconda parte saranno invece presentati alcuni casi di studio esplicativi delle potenzialità e delle limitazioni operative della tecnica di laser scanning terrestre in campo ambientale e agro-forestale.

### **Abstract**

Terrestrial laser scanning techniques find rapidly growing interest in both environmental and agro-forestry fields as efficient tools for fast and reliable 3D point data acquisition and 3D representation of the object viewed by the scanners. They have opened a wide range of application fields within a rather short period of time. Beyond interactive measurement in 3D point clouds, techniques for the automatic detection of objects, the determination of geometric parameters, and the analysis of the reflectance signal form high priority research issues. The high quality of 3D point clouds generated by laser scanners and the data process automation potential make terrestrial laser scanning also an interesting tool for environmental and agro-forestry applications.

The paper will first review current laser scanner systems from a technological point of view and discuss different scanner technologies and system parameters regarding their suitability for environmental and agro-forestry applications.

In the second part of the paper, results of case studies on potentials and limitations of terrestrial laser scanners in environmental and agro-forestry fields will be presented.

### **Introduzione**

A partire dai primi anni 2000, le tecniche di laser scanning terrestre si sono trasformate da tematica di pura ricerca a tecnologia matura per la gestione, elaborazione e pubblicazione di geodati, disponibile commercialmente grazie all'offerta di una miriade di aziende che operano nel campo del monitoraggio ambientale. La tecnologia è utilizzata per l'acquisizione rapida di informazioni

tridimensionali (3D) di una varietà di oggetti. Edifici storici, siti archeologici, ponti, impianti industriali, automobili, falesie costiere, dune e spiagge sabbiose, ecc., tutto può essere accuratamente modellato e documentato attraverso la tecnologia laser

Da questo punto di vista il laser scanner (Lidar, *Light Detection and Ranging*) rappresenta senza dubbio la tecnica di acquisizione dati introdotta nello scorso decennio di maggior successo. Il laser scanner terrestre (TLS) ha suscitato interesse e ha trovato ampia applicazione in settori distanti da quelli originari con interessanti applicazioni in svariati campi (ambiente e rischio ambientale, settore forestale e agronomico, rischio incendi, studi ecologici, idrologici, sismici, ecc.).

In questo lavoro viene innanzitutto illustrato lo stato dell'arte dei TLS dal punto di vista tecnologico e vengono quindi discusse le diverse soluzioni tecnologiche e i diversi parametri di sistema in relazione alle possibili applicazioni in campo ambientale e agro-forestale.

Nella seconda parte saranno invece presentati alcuni casi di studio esplicativi delle potenzialità e delle limitazioni operative della tecnica TLS in campo ambientale e agro-forestale.

### La tecnologia TLS

I TLS sono strumenti che consentono la digitalizzazione non distruttiva, rapida e precisa di oggetti e di porzioni di territorio di qualsiasi forma e dimensione sotto forma di nuvole di punti 3D. Da un punto di vista storico, la tecnologia TLS è stata a lungo utilizzata per applicazioni di ingegneria civile ed industriale, per ottenere, ad esempio, una rappresentazione tridimensionale di edifici storici o di siti archeologici. Il principio di funzionamento della tecnologia TLS si basa sull'emissione-ricezione di un raggio laser. In una possibile configurazione, il raggio laser, deflesso da uno specchio rotante montato su un supporto anch'esso rotante, illumina, con il variare dell'angolo azimutale e zenitale, la scena e gli oggetti in punti contigui (Fig. 1). La conoscenza della posizione angolare dello specchio deflettente, insieme all'intensità del raggio laser riflesso, consentono di misurare una distanza e di rappresentare ciascun punto riflettente con specifiche coordinate 3D e uno specifico valore di riflettanza. La rappresentazione 3D che ne deriva è la cosiddetta "nuvola di punti", composta, talvolta, da milioni di punti.

Dal punto di vista del protocollo di misura, il TLS può essere utilizzato secondo due diverse modalità, la scansione singola e le scansioni multiple. Nel primo caso il sistema laser viene posizionato in un solo punto e viene effettuata un'unica scansione, rapida ma con lacune dovute all'inevitabile ombreggiamento di alcune porzioni della scena ripresa. Nel caso delle scansioni multiple, vengono effettuate diverse scansioni intorno alle superfici e agli oggetti che si intendono rilevare. La trasformazione geometrica che consente l'allineamento delle diverse scansioni in un'unica nuvola di punti è effettuata attraverso il posizionamento sulla scena ripresa di almeno tre target di riferimento. Questo metodo aumenta sia i tempi di misura (in funzione del numero di

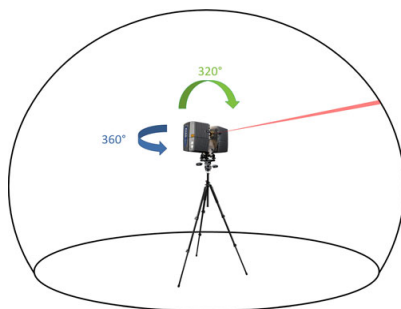


*Figura 1 – Principio di funzionamento operativo di un TLS. Un raggio laser deflesso da uno specchio rotante effettua la scansione di un piano verticale, mentre la completa rotazione dell'intero strumento permette una scansione emisferica. Il tutto si risolve nella digitalizzazione e nella rappresentazione 3D degli oggetti circostanti sotto forma di una nuvola di punti (tratta da Dassot et al., 2011).*

scansioni) sia i tempi di post-elaborazione (in funzione del numero di target di riferimento e del metodo utilizzato per rilevarli, automatico o manuale). Si tratta comunque del protocollo di misura che consente la più completa rappresentazione 3D delle superfici e degli oggetti ripresi.

### **I sistemi di scansione laser terrestri**

I sistemi di scansione TLS sono di solito classificati in due categorie in base al principio di misura della distanza: sistemi a differenza di fase (*phase-shift*) e sistemi a tempo di volo (*pulsed time of flight*).

Nel caso dei TLS a differenza di fase, le distanze sono stimate attraverso la misura dello sfasamento tra i treni d'onda emessi e quelli ricevuti. Questi strumenti consentono sia di avere ampi campi di vista e tempi di acquisizione molto rapidi sia di acquisire un numero di punti molto elevato. Per la loro portata, i TLS a differenza di fase si prestano particolarmente per misure molto precise e dettagliate di scene a distanza ravvicinata (sino a 100 m). Generalmente lavorano nel visibile (600-800 nm) anche se sono disponibili prodotti commerciali che utilizzano l'infrarosso (Pfeifer and Briese, 2007; Lemmens, 2011).

La tecnologia a tempo di volo prevede la misura dei tempi trascorsi tra due impulsi o tra due treni d'onda. In questo caso è possibile riprendere superfici e oggetti a distanze molto maggiori ma con velocità di acquisizione relativamente bassa. Questo tipo di TLS utilizza generalmente lunghezze d'onda nell'infrarosso vicino (900-1500 nm) ed è particolarmente adatto per la ricostruzione 3D di scene poste a maggiore distanza (oltre i 100 m). Gli strumenti a tempo di volo sono di solito caratterizzati da un campo di vista verticale piuttosto ristretto. Tenendo conto del numero di segnali di ritorno calcolati per ciascuna direzione e delle capacità di rilevamento del sensore, per gli strumenti a tempo di volo si possono distinguere quattro metodi di registrazione del segnale di ritorno (Fig. 2): (1) registrazione di un solo segnale di ritorno (da parte del primo oggetto che riflette una frazione dell'impulso laser); (2) registrazione del primo e dell'ultimo segnale di ritorno (con la possibilità di selezionare il primo, l'ultimo o entrambi i segnali riflessi); (3) registrazione di diversi (sino a cinque) segnali multipli; (4) registrazione del profilo della forma d'onda (registrazione in continuo dell'eco retrodiffusa). Nel caso dei primi tre metodi, sulla base di specifici valori di soglia vengono registrati solo i segnali di picco. Sia il terzo che il quarto metodo (e in misura inferiore il secondo) forniscono informazioni con diversi livelli di profondità di campo. Infine, i TLS a forma d'onda analizzano l'intero segnale riflesso e consentono una migliore valutazione della struttura delle superfici e degli oggetti indagati (Pfeifer and Briese, 2007; Jupp et al., 2009; Lemmens, 2011).

### **La portata del sensore laser**

Una delle più importanti caratteristiche operative dei TLS è la portata in quanto determina in larga misura le possibili applicazioni. Si possono distinguere strumenti a piccola portata (sino a 25 m), strumenti a media portata (sino a 250 m) e strumenti a lunga portata (oltre 250 m). Gli strumenti a differenza di fase, disponibili sul mercato dai primi anni '90, sono nati per applicazioni industriali che richiedono una piccola portata e un'elevata accuratezza. Caratterizzati da un'elevata precisione (da sub-millimetrica a sub-centimetrica) e da un'elevata velocità di scansione (sino a 500.000 punti al secondo), producono nuvole di punti a elevata densità. Queste caratteristiche così favorevoli determinano limitazioni nella portata, di solito inferiore a 100 m. I sistemi a tempo di volo possono invece misurare distanze sino a 1 km e anche più, ma la loro precisione è inferiore (da sub-centimetrica a centimetrica) mentre la velocità di scansione può arrivare intorno ai 50.000 punti al secondo.

Un'altra importante caratteristica dei TLS è la risoluzione spaziale. Il livello di dettaglio spaziale che può essere ottenuto da una nuvola di punti dipende dalla portata (o dalla distanza dell'oggetto),

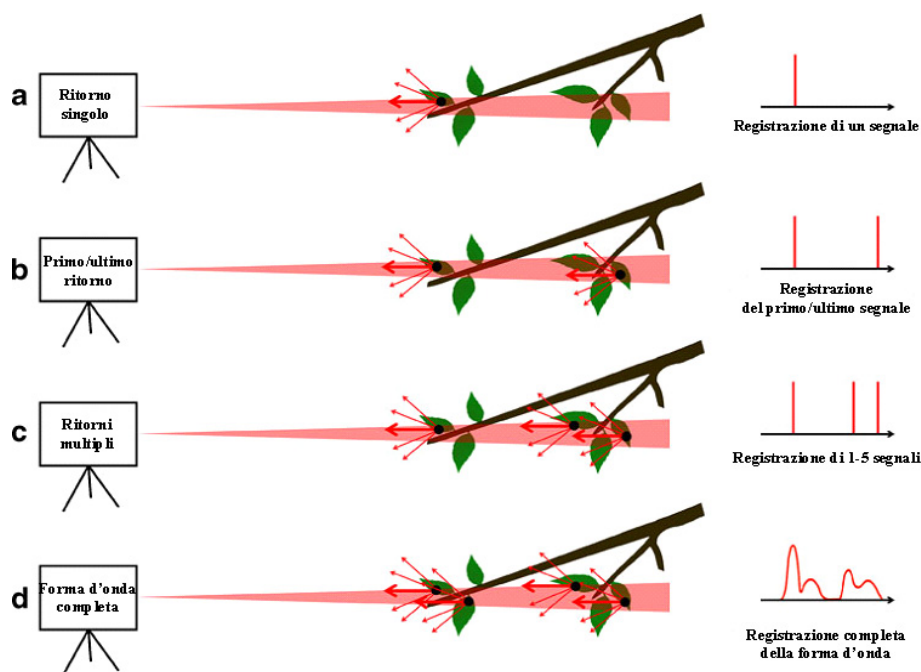


Figura 2 – Tipi di segnale di ritorno di un sistema TLS. Possono essere registrati uno o più segnali in base alla capacità di rilevamento del sensore. I sistemi di misura a differenza di fase possono registrare un solo segnale (a), mentre si possono trovare quattro diverse tipologie nei sistemi a tempo di volo. Nei casi (a), (b) e (c) sono registrati i soli segnali di picco (definiti da specifiche soglie). I TLS a forma d'onda (d) sono in grado di registrare il profilo della forma d'onda del segnale di ritorno (tratta e modificata da Dassot et al., 2011).

dall'intervallo di campionamento e dall'ampiezza del raggio laser. Di solito l'intervallo di campionamento è considerato l'indicatore della risoluzione spaziale, per quanto quest'ultima caratteristica dipenda anche dalla portata e dall'ampiezza del raggio laser (Lichti e Jamtsho, 2006).

### I programmi di elaborazione dei dati TLS

Le nuvole di punti generate dai TLS sono dati non strutturati che devono essere ricostruiti attraverso programmi di elaborazione dedicati per poter ricavare le informazioni di interesse. È quindi necessario procedere alla post-elaborazione dei dati, attraverso una serie di operazioni in cascata, che dipendono dal tipo di risultato che si intende ricercare. La prima operazione consiste nell'allineamento delle scansioni, in quanto ogni singola nuvola di punti è restituita dal dispositivo di acquisizione in uno spazio dipendente dal suo posizionamento rispetto all'oggetto, e risulta quindi disposta nello spazio in modo apparentemente casuale. In questa prima fase della post-elaborazione si allineano tutte le scansioni in un unico spazio. Si può poi operare una limitazione del campo di ripresa, estrapolando solo i punti di interesse. Le fasi successive dipendono fortemente dallo scopo dell'indagine e possono comprendere le seguenti operazioni:

- decimazione, si tratta di diminuire la densità spaziale dei punti (ricampionamento) per renderla omogenea e congruente rispetto alla scala nominale del rilievo
- georeferenziazione, ovvero una rototraslazione nello spazio tale da collocare la nuvola di punti in un sistema geodetico di riferimento
- riduzione del rumore, tramite l'analisi della riflettanza e con altre tecniche si riduce il numero di punti, eliminando quelli in eccesso e fuorvianti



- colorazione, assegnazione dell'informazione del colore ad ogni punto, realizzabile abbinando il rilievo TLS a riprese fotografiche
- creazione di mesh, con software dedicati è possibile creare mesh 3D tramite triangolazioni di punti
- analisi per ricavare informazioni su volumi, sezioni, profili, ecc
- analisi statistica delle scansioni per analizzare la variabilità della riflettanza, della densità, ecc.

Dal momento in cui i TLS sono giunti sul mercato, diverse aziende hanno prodotto specifici pacchetti software che consentono di realizzare diverse operazioni di base sui dati provenienti da scansioni laser. Questi prodotti software, spesso generici e comunque realizzati principalmente per applicazioni in campo industriale, architettonico o archeologico, possono trovare applicazione anche nel settore ambientale e in quello agro-forestale. Esistono comunque altri pacchetti software di post-elaborazione specificatamente dedicati ad applicazioni ambientali, con particolare riferimento al settore forestale.

### **Applicazione dei sistemi TLS nel settore forestale**

A partire dai primi anni 2000, sono stati pubblicati numerosi studi finalizzati alla caratterizzazione della struttura delle piante forestali. Rimandando a Dassot et al. (2011) per maggiori dettagli, in questo paragrafo si riporta una rapida rassegna delle applicazioni in campo forestale (Fig. 3), con un cenno agli strumenti e ai metodi utilizzati.

I primi studi si sono focalizzati sulla valutazione della struttura degli alberi con particolare attenzione alla caratterizzazione dei principali parametri dendrometrici: diametri del tronco, altezza dell'albero, densità d'impianto, area basale e volumi legnosi commerciali. Queste indagini erano indirizzate a dimostrare le potenzialità dei TLS nell'ottenere misure più veloci e accurate rispetto ai tradizionali metodi inventariali. A questo proposito sono state sviluppate una serie di metodologie per estrarre dalle nuvole di punti le informazioni ricercate. La prima operazione consiste nel realizzare un modello digitale del terreno (DTM) a partire dalla nuvola di punti, punto di partenza per l'estrazione di ulteriori parametri (Simonse, 2003). Successivamente è possibile rilevare i tronchi degli alberi nella nuvola di punti e determinare i diametri a petto d'uomo (DBH), estraendo tutti i punti situati in uno strato compreso tra 1.25 e 1.35 m dal suolo. Entro questa "fetta" orizzontale, tutti i cluster circolari di punti sono individuati attraverso tecniche di riconoscimento delle forme, quali la trasformata di Hough e il *least square circle fitting* (Simonse et al., 2003; Maas et al., 2008). Da questi cluster circolari (considerati come sezioni di tronco) possono ottenersi degli anelli circolari, e quindi possono essere determinati con buona accuratezza sia la posizione dell'albero sia il DBH. Questi principi sono stati ampiamente utilizzati e perfezionati per poter determinare i diametri del tronco a diverse altezze e quindi il profilo del tronco degli alberi (Aschoff e Spiecker, 2004). Queste stime hanno mostrato una buona accuratezza con un errore di circa 1 cm per le altezze comprese tra la base dell'albero e la parte più bassa della chioma. Infine, Bienert et al. (2007) hanno proposto un set completo di algoritmi che consentono la segmentazione del tronco e la ricostruzione del diametro del tronco sia per la porzione osservata sia per la porzione non osservabile a causa di ostruzioni e impedimenti.

I sistemi TLS vennero quindi utilizzati con scopi inventariali e confrontati con i metodi tradizionali. Questi confronti, effettuati su boschi di conifere e su foreste decidue e miste, dimostrarono l'accuratezza dei TLS, come riportato da diversi autori (Hopkinson et al., 2004; Strahler et al., 2008; Tansey et al., 2009).

I sistemi TLS hanno trovato applicazione anche nell'identificazione delle specie attraverso l'analisi della struttura della corteccia. Haala et al. (2004) e Reulke e Haala (2004) hanno utilizzato rilievi TLS associati a immagini fotografiche ad alta risoluzione dimostrando le capacità di questa tecnica di individuare e riconoscere le specie forestali. Altri autori (Schütt et al., 2004) hanno invece sviluppato una metodologia per determinare la qualità commerciale degli alberi individuando

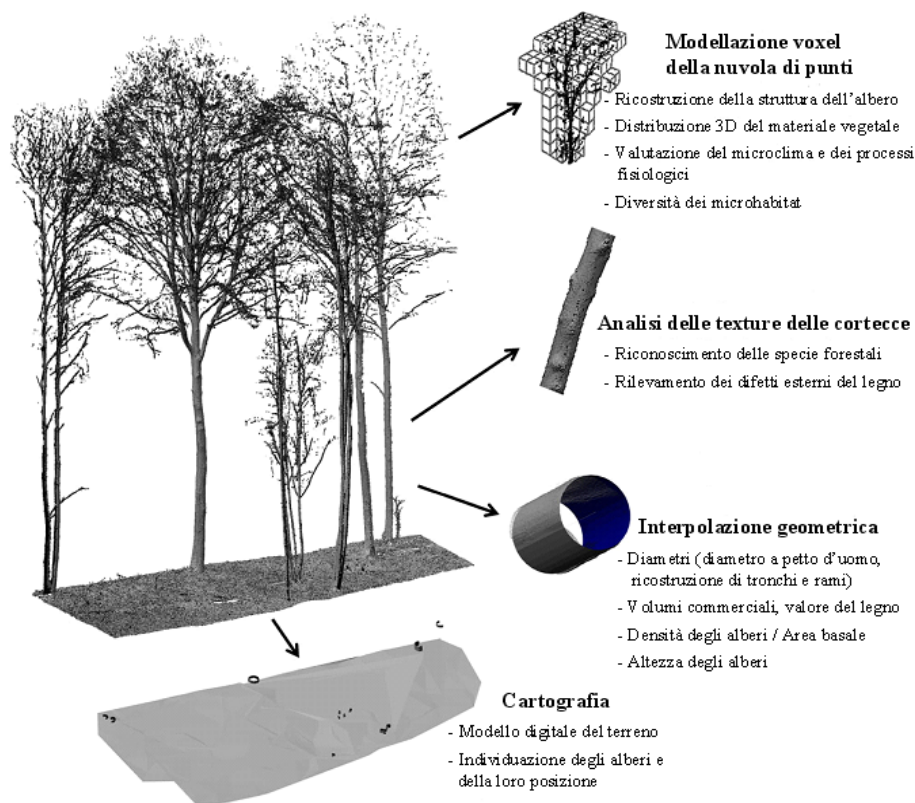


Figura 3 – Metodi per la ricostruzione dell'architettura delle piante forestali e per la misura dei relativi parametri strutturali a partire da dati TLS (tratta e modificata da Dassot et al., 2011).

caratteristiche o difetti di interesse commerciale. La portata dei sistemi TLS e la loro velocità di acquisizione, rendono questi strumenti particolarmente utili per descrivere la geometria complessa delle coperture forestali.

La determinazione della copertura vegetale è di solito effettuata determinando la proiezione orizzontale della chioma. Fleck et al. (2007) utilizzarono un TLS a differenza di fase per digitalizzare un'area di una foresta decidua. Il confronto tra le proiezioni virtuali e i metodi tradizionali mostrò buoni risultati ( $r^2 = 0.90$ ) con una maggiore capacità di rilevare le zone di contatto tra le chiome degli alberi.

Un uso massiccio della tecnologia TLS ha riguardato la stima della frazione delle aperture della vegetazione (*forest canopy gap fraction*). Danson et al. (2007, 2008) utilizzarono a questo scopo un TLS a tempo di volo in modalità emisferica. La frazione delle aperture venne stimata tramite il rapporto tra il numero di raggi laser emessi e il numero di raggi laser ricevuti per ciascuna fascia di angolo zenitale pari a  $5^\circ$ . La misura della frazione delle aperture della vegetazione ottenute con il TLS risultarono confrontabili con quelle ottenute con fotografie emisferiche, con il vantaggio di avere anche informazioni sulla distribuzione 3D della chioma. Conclusioni analoghe sono state successivamente riportate da altri autori (Strahler et al., 2008; Jupp et al., 2009).

L'indice di area fogliare (LAI, *Leaf Area Index*) è un parametro strutturale chiave delle coperture forestali, rappresentando la superficie fogliare totale che insiste sull'unità di superficie del suolo. Numerosi sono i metodi diretti e indiretti messi a punto per la stima del LAI: dai campionamenti distruttivi alle relazioni allometriche, dalle tecniche fotografiche a quelle radiometriche. Tutti i

metodi convenzionali presentano un livello di accuratezza che può essere accettabile solo tramite campionamenti dispendiosi in termini di tempo e di mezzi. L'utilizzo del TLS rappresenta una nuova possibilità per stimare questo parametro strutturale.

Da un punto di vista tecnico, il primo aspetto riguarda il riconoscimento e la separazione del materiale legnoso e del materiale verde nella nuvola di punti. Come mostrato da Clawges et al. (2007) su alberi di conifere, il materiale legnoso e verde può essere discriminato attraverso i valori di intensità di ciascun punto. Le frazioni di materiale verde e di materiale legnoso sul totale vennero calcolate a partire dal numero di segnali di ritorno e il tutto venne confrontato con misure dirette, ottenendo una forte correlazione ( $r^2 = 0.82$ ).

Un modo molto efficiente per stimare il LAI consiste nell'elaborazione delle nuvole di punti in una griglia 3D (voxel). Le potenzialità dei metodi basati sui voxel sono particolarmente elevate quando si applicano algoritmi di *ray-tracing*, calcolando i raggi intercettati da ciascun voxel. Questa tecnica è stata diffusamente sperimentata con successo per calcolare sia il LAI sia la densità di area fogliare (LAD, *Leaf Area Density*), altro parametro strutturale che misura la superficie fogliare presente nell'unità di volume (Hosoi e Omasa, 2006, 2009b; Henning e Radtke, 2006). Particolare attenzione è stata prestata a identificare i fattori che influenzano l'accuratezza di queste misure. Un fattore importante è l'inclinazione delle foglie, che riduce la loro illuminazione. Ciò richiede una risoluzione molto elevata e l'inclinazione può essere valutata approssimando una foglia a un piano e calcolando la normale al piano. La distribuzione dell'angolo di inclinazione delle foglie può quindi essere ricavata dall'angolo di queste normali. Anche la presenza di tessuti non fotosintetici determina una distorsione nella stima di LAI e LAD. Questa distorsione può essere evitata rimuovendo i punti corrispondenti al materiale legnoso basandosi sui valori di riflettanza oppure, quando possibile, programmando due scansioni, una in assenza e una in presenza di foglie e sottraendo i segnali di ritorno della prima scansione dai segnali di ritorno della seconda basandosi sulle coordinate dei voxel. Infine, la stessa presenza delle foglie può rappresentare un ostacolo nella stima accurata del LAD.

Altre applicazioni del TLS in campo forestale hanno tentato e tentano di rappresentare la complessa struttura tridimensionale degli alberi. Diversi sono i metodi che possono essere utilizzati per la ricostruzione dell'architettura di un albero. Sequenze di cilindri possono essere interpolati alla nuvola di punti per determinare volume e geometria di tronchi e rami (Cheng et al., 2007). Un altro metodo per determinare l'architettura di un albero consiste nel proiettare la nuvola di punti in uno spazio di voxel (Lefsky e McHale, 2008). Queste metodologie si basano su scansioni di qualità molto elevata. Altri autori hanno focalizzato la propria attenzione sulla possibilità di ricostruire l'architettura di una pianta forestale a partire da dati TLS incompleti. Ad esempio Xu et al. (2007) utilizzarono la nuvola di punti corrispondente alla struttura legnosa principale dell'albero come punto di partenza per generare sia le ramificazioni sia la chioma. Una complessa metodologia per la ricostruzione di una pianta forestale è stata illustrata da Côté et al. (2009), che accoppiarono il modello strutturale a un modello di trasferimento radiativo per simulare riflettanza e trasmittanza della chioma, ottenendo risultati in buon accordo con le misure convenzionali (fotografie emisferiche).

Tecniche di rilievo e di elaborazione analoghe a quelle sinora menzionate sono state inoltre utilizzate per analizzare le caratteristiche strutturali e la distribuzione spaziale del combustibile forestale, informazioni cruciali per quantificare il rischio di incendio e per simulare il comportamento del fuoco. Per maggiori dettagli, si vedano a questo proposito i recenti articoli di Erdody e Moskal (2010) e di García et al. (2011).

Un ultimo gruppo di applicazioni in campo forestale riguarda gli studi più propriamente ecologici, come ad esempio quelli riguardanti le interazioni tra le piante forestali e la luce. Van Der Zande et al. (2009) hanno utilizzato un TLS a tempo di volo per scalare il tasso traspirativo di *Quercus ilex* dal livello fogliare al livello di singola pianta. La nuvola di punti che rappresentava l'albero venne inserita in uno spazio di voxel e analizzata attraverso un programma *ray-tracing* per simulare l'ambiente luminoso della chioma. Per ogni singolo voxel, classificato in base a classi di

illuminazione, vennero quindi stimate le caratteristiche fisiologiche (conduttanza stomatica, traspirazione) in base alla quantità di luce intercettata. Il tasso di traspirazione totale dell'albero venne infine calcolato integrando i valori di traspirazione di ciascun voxel, ottenendo una stima fortemente correlata con le misure dirette (metodo *sap.flow*).

Un'altra specifica applicazione del TLS riguarda l'interazione tra la struttura degli alberi e le esondazioni nelle zone ripariali. Uno studio è stato condotto da Antonarakis et al. (2009) con lo scopo di migliorare la simulazione della resistenza dei boschi ripariali nei modelli di esondazione. Dopo aver ricostruito con diversi metodi l'architettura delle piante, vennero determinati i parametri di resistenza al flusso degli alberi con risultati in buon accordo con metodi diretti di valutazione.

Un ultimo esempio di applicazioni in campo ecologico riguarda l'analisi degli habitat degli animali nel bosco. Un primo esempio è rappresentato da Michel et al. (2008) che, utilizzando un TLS a tempo di volo, misero in relazione le caratteristiche strutturali di un bosco di conifere in Nuova Zelanda con i criteri di scelta dei siti di nidificazione di due specie di uccelli. Un secondo esempio, simile nell'approccio, è fornito da Aschoff et al. (2007), i quali analizzarono l'attività di caccia di diverse specie di pipistrello in relazione alla variazione verticale della densità della vegetazione.

### **Applicazioni dei sistemi TLS nel settore agrario**

Le approfondite sperimentazioni effettuate con il TLS in campo forestale hanno avuto come logica conseguenza il suo utilizzo anche in campo agrario con alcune applicazioni del tutto analoghe a quelle illustrate per il settore forestale e altre più specifiche delle tematiche agricole.

Sistemi TLS sono stati utilizzati per misurare i dettagli strutturali della vegetazione in vigneti, oliveti e frutteti (Fig. 4) con risultati apprezzabili nella ricostruzione della struttura della vegetazione e nella determinazione di diversi parametri strutturali e funzionali: altezza delle piante, ampiezza e volume della chioma, LAI, LAD, indice di aggregazione delle foglie, ecc. (Rosell et al., 2009; Moorthy et al., 2011).

La chioma della vegetazione svolge un importante ruolo nei cicli della materia e dell'energia attraverso la fotosintesi e la respirazione, determinando l'ambiente microclimatico. Determinare la struttura verticale della chioma è essenziale, poiché la sua composizione tridimensionale ne influenza fortemente le funzionalità. Hosoi e Omasa (2009a) hanno mostrato che sistemi TLS ad alta risoluzione possono fornire una stima accurata della struttura verticale delle colture agrarie. In particolare, è stato stimato il profilo verticale della densità di area delle piante (PAD, simile al LAD, ma utilizzato laddove non è possibile discriminare le foglie dalle altre parti verdi) su frumento tenero in diverse fasi di sviluppo utilizzando un TLS ad alta risoluzione e un metodo di analisi basato sui voxel. Inoltre, hanno dimostrato la possibilità di utilizzare i valori di PAD stimati con il TLS per ottenere informazioni sul peso secco e sull'accumulo di carbonio dei vari organi verdi della pianta.

Eitel et al. (2011) hanno sperimentato in pieno campo l'utilizzo del TLS su frumento tenero per valutarne le potenzialità nel diagnosticare il contenuto di azoto fogliare durante le prime fasi di estensione dello stelo. I risultati hanno evidenziato una maggiore accuratezza del TLS rispetto ai metodi di stima convenzionali (misuratori di clorofilla, sensori ottici), dimostrando la possibilità di un suo utilizzo per il monitoraggio del contenuto di azoto fogliare e per la gestione degli interventi di fertilizzazione durante le fasi più critiche della coltura.

La possibilità di valutare la biomassa delle colture e diversi parametri strutturali (altezza, volume, ecc.) è stata indagata da vari autori con risultati apprezzabili. Recentemente, Hoffmeister et al. (2011) hanno utilizzato un TLS a tempo di volo per ricostruire un modello 3D ad alta risoluzione della coltura. L'indagine, effettuata su diverse colture (barbabietola da zucchero, frumento e orzo),

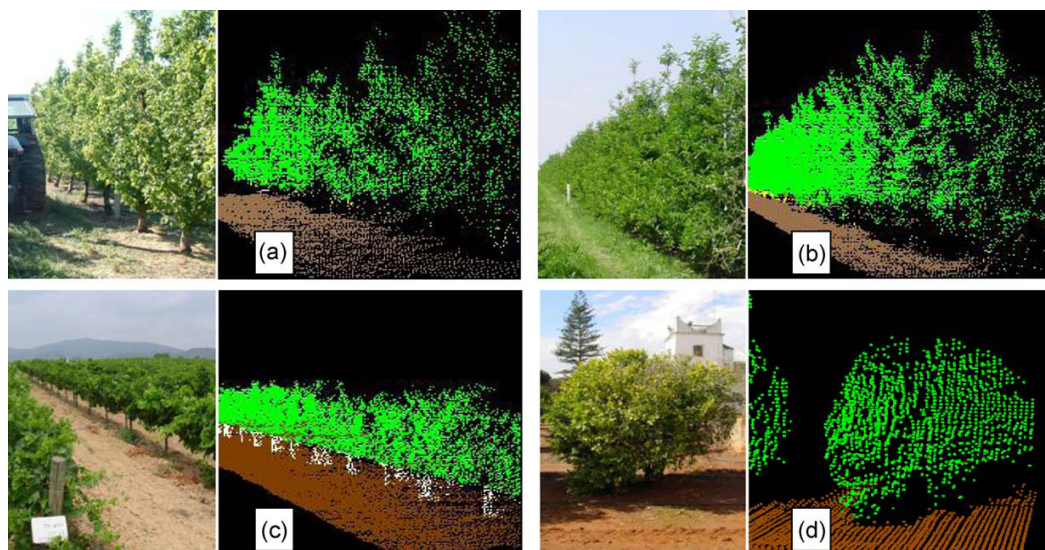


*Figura 4 – Immagini fotografiche e 3D di alberi di pero (a), melo (b), vite (c) e arancio (d) (tratta da Rosell et al., 2009).*

ha dimostrato la possibilità di ottenere mappe ad alta risoluzione dei campi coltivati e delle relative colture, con il rilevamento anche degli effetti degli interventi agronomici.

Infine, Radtke et al. (2010) hanno dimostrato le possibilità applicative dei TLS per misure affidabili e non invasive della quantità di foraggio rimosso dal pascolamento del bestiame in parcelle sperimentali di erba medica e festuca.

### **Applicazioni dei sistemi TLS in altri settori ambientali**

Rimandando ai testi specialistici per un'approfondita rassegna sulle applicazioni del TLS in altri settori ambientali (Heritage e Large, 2009), in questo paragrafo conclusivo sulle applicazioni ci si limita a una rapida rassegna, sicuramente non esaustiva, sulle esperienze più rilevanti reperibili in letteratura.

Il TLS ha trovato negli anni più recenti un'ampia applicazione nelle indagini sulle frane, siano esse di crollo, di scivolamento o di colamento (Jaboyedoff et al., 2010). Specifiche applicazioni hanno riguardato il rilevamento e la caratterizzazione dei movimenti franosi, la valutazione del rischio e la mappatura della suscettibilità da frana, la modellazione dei movimenti franosi e tutti gli aspetti concernenti il monitoraggio delle frane.

L'elevata precisione e completezza di informazioni generate dai TLS ha trovato applicazione anche nella caratterizzazione e nello studio morfologico e vegetazionale dei corsi d'acqua, anche con scopi di modellazione idrodinamica (Heritage et al., 2005; Milan et al., 2009).

I processi di erosione del suolo sono fortemente influenzati dalla rugosità superficiale del terreno. Peraltro, quantificare la rugosità superficiale in pieno campo e a una scala appropriata è piuttosto laborioso così come è difficile individuare la scala spaziale a cui effettuare le misure per ottenere dati significativi. Le caratteristiche dei sistemi TLS consentono di ottenere accurate misure di rugosità superficiale alla scala sub-centimetrica, come dimostrato da Eitel et al. (2011) in una recente indagine effettuata in un'area a pascolo dell'Idaho, USA. Gli autori concludono che il TLS è uno strumento in grado di migliorare la comprensione degli effetti della rugosità superficiale sui processi di erosione e di parametrizzare accuratamente i modelli di simulazione dei processi idrologici ed erosivi.

I numerosi studi e campi di indagine geomorfologici in cui ha trovato applicazione il TLS



(caratterizzazione e monitoraggio di falesie, formazioni dunali interne e costiere, spiagge, ecc.) hanno mostrato le enormi potenzialità nel monitoraggio dei processi erosivi e delle dinamiche costiere. Per una breve ma puntuale rassegna di questo settore di indagine si rimanda a Nield et al. (2011). Per tentare di completare il quadro sui campi di applicazione dei sistemi TLS in campo ambientale, un brevissimo cenno a due recenti indagini. La prima riguarda lo studio delle deformazioni post-sismiche associate al terremoto dell'Aquila del 2009 (Wilkinson et al., 2010) e la seconda la mappatura e il monitoraggio dei biotopi fluviali e torrentizi, attraverso l'analisi delle proprietà riflettenti della superficie dell'acqua e la determinazione della rugosità superficiale dell'acqua (Milan et al., 2010).

## Conclusioni

In questo articolo si è cercato di rappresentare lo stato dell'arte delle applicazioni della tecnologia TLS in campo forestale e agrario, con alcuni cenni alle applicazioni nel più ampio campo ambientale. Sembra evidente che i sistemi TLS hanno un elevato potenziale di utilizzo sia in campo agro-forestale sia in campo ambientale e, a fronte delle difficoltà che derivano dall'enorme mole di dati che generano, consentono rilievi rapidi e più dettagliati rispetto ai metodi di monitoraggio convenzionali. Da questo punto di vista, la diffusione dei TLS e più in generale dei LIDAR ha rappresentato una vera e propria "rivoluzione", analoga a quella cui abbiamo assistito in ambito fotografico con l'avvento del digitale. L'analisi della letteratura e le caratteristiche intrinseche dei TLS fanno intuire che le possibili applicazioni in campo agro-forestale e ambientale sono innumerevoli. Si devono comunque evidenziare alcuni aspetti che richiedono un miglioramento della tecnologia e dei metodi di analisi che ne derivano affinché questa tecnologia possa esprimere appieno le proprie potenzialità. Un primo aspetto riguarda le caratteristiche dell'apparecchiatura che in futuro dovrà essere ancora più piccola, maneggevole e modulare per renderne più agevole l'utilizzo. Dovranno inoltre essere definiti degli standard tecnici che consentano di confrontare senza complicanze i sistemi di scansione laser in commercio. Un'ulteriore urgente esigenza è il miglioramento dei software dedicati alla modellazione, all'estrazione delle proprietà, all'analisi delle texture e alla presentazione dei modelli. Così come estrema attenzione dovrà essere dedicata all'ottimizzazione dei software per la manipolazione dell'enorme volume di dati prodotti, al contempo punto di forza e vera limitazione per una completa espressione delle potenzialità dei sistemi TLS. Infine, ma non per importanza, un cenno deve essere fatto all'esigenza di formazione e di addestramento dei ricercatori e, più in generale, degli utilizzatori. In sostanza, per quanto si tratti di una tecnologia matura, rimane un ampio margine per ulteriori importanti progressi nel miglioramento della tecnologia in tutti i suoi aspetti. Non c'è comunque alcun dubbio che la futura evoluzione della tecnologia e i progressi nelle capacità di calcolo consolideranno in futuro il ruolo dei TLS in campo ambientale come essenziale fonte di informazioni e strumento di analisi.

## Riferimenti bibliografici

- Antonarakis A.S., Richards K.S., Brasington J., Bithell M. (2009), "Leafless roughness of complex tree morphology using terrestrial lidar", *Water Resour Res*, 45: W10401
- Aschoff T., Spiecker H. (2004), "Algorithms for the automatic detection of trees in laser scanner data", *ISPRS*, 36: 66–70
- Aschoff T., Spiecker H., Holderied M.W. (2007), "Terrestrische Laserscanner und akustische Ortungssysteme: Jagdlebensräume von Fledermaeusen in Wäldern" *AFZ Der Wald*, 62: 172–175
- Bienert A., Scheller S., Keane E., Mohan F., Nugent C. (2007), "Tree detection and diameter estimations by analysis of forest terrestrial laser scanner point clouds", *Proc. Laser scanning 2007 and Silvilaser 2007*, ISPRS Commission III Workshop 36, Part 3, Espoo, Finland
- Clawges R., Vierling L., Calhoon M., Toomey M. (2007), "Use of a ground-based LIDAR for estimation of biophysical properties of western larch", *Int J Remote Sens*, 28: 1–14
- Cheng Z.L., Zhang X.P., Chen B.Q. (2007), "Simple reconstruction of tree branches from a single range image", *J Comput Sci Technol*, 22: 846–858



- Côté J.F., Widlowski J.L., Fournier R.A., Verstraete M.M. (2009), "The structural and radiative consistency of three-dimensional tree reconstruction from terrestrial LIDAR", *Remote Sens Environ*, 113: 1067–1081
- Danson F.M., Giacosa C., Armitage R.P. (2007), "Two-dimensional forest canopy architecture from terrestrial laser scanning", *ISPRS*, 36: 1682–1777
- Danson F.M. *et al.* (2008), "Terrestrial laser scanners to measure forest canopy gap fraction", *Proc. SilviLaser 2008*, Edinburgh, UK.
- Dassot M., Constant T., Fournier M. (2011), "The use of terrestrial LiDAR technology in forest science: application fields, benefits and challenges", *Annals of Forest Science*, 68: 225–244
- Eitel J.U.H., Vierling L.A., Long D.S., Hunt E.R. (2011) "Early season remote sensing of wheat nitrogen status using a green scanning laser", *Agric For Meteorol*, 151: 1338–1345
- Eitel J.U.H., Williams C.J., Vierling L.A., Al-Hamdan O.Z., Pierson F.B. (2011) "Suitability of terrestrial laser scanning for studying surface roughness effects on concentrated flow erosion processes in rangelands", *Catena* (in corso di stampa)
- Erdody T.L., Moskal L.M. (2010), "Fusion of LiDAR and imagery for estimating forest canopy fuels", *Remote Sens Env*, 114: 725–737
- Fleck S. *et al.* (2007), "Terrestrial LIDAR measurements for analysis canopy structure in an old-growth forest", *ISPRS*, 36: Part 3 / W52
- García M., Danson F.M., Riaño D., Chuvieco E., Ramirez F.A., Bandugula V. (2011), "Terrestrial laser scanning to estimate plot-level forest canopy fuel properties", *Int J Appl Earth Obs Geoinf*, 13: 636–645
- Haala N., Reulke R., Thies M., Aschoff T. (2004), "Combination of terrestrial laser scanning with high resolution panoramic images for investigations in forest applications and tree species recognition", *ISPRS*, 34: Part 5/W16
- Henning J.G., Radtke P.J. (2006), "Ground-based laser imaging for assessing three-dimensional forest canopy structure", *Photogramm Eng Remote Sens*, 72: 1349–1358
- Heritage G.L., Hetherington D. (2005), *Notes on the performance of side scanning LiDAR across varied terrain*, IAHS Red Book Publication, 291: 269–277
- Heritage G.L., Large A.R.G. (2009), *Laser scanning for the environmental sciences*, Blackwell Publishing Ltd, Chichester, UK
- Hoffmeister D., Curdt C., Tilly N., Bendig J. (2011), "3d terrestrial laser scanning for field crop modelling", *Proc. Workshop on Remote Sensing Methods for Change Detection and Process Modelling*, 18-19/11/2010, Cologne, pp. 17-22
- Hopkinson C., Chasmer L., Young-Pow C., Treitz P. (2004), "Assessing forest metrics with a ground-based scanning lidar", *Can J For Res*, 34: 573–583
- Hosoi F., Omasa K. (2006), "Voxel-based 3-D modelling of individual trees for estimating leaf area density using high resolution portable scanning lidar", *IEEE Trans Geosci Remote Sens*, 44: 3610–3618
- Hosoi F., Omasa K. (2009a), "Estimating vertical plant area density profile and growth parameters of a wheat canopy at different growth stages using three-dimensional portable LiDAR imaging", *ISPRS*, 64: 151–158
- Hosoi F., Omasa K. (2009b), "Detecting seasonal change of broadleaved woody canopy leaf area density profile using 3D portable LiDAR imaging", *Funct Plant Biol*, 36: 998–1005
- Jupp D.L.B., Culvenor D.S., Lovell J.L., Newnham G.J., Strahler A.H., Woodcock C.E. (2009), "Estimating forest LAI profiles and structural parameters using a ground-based laser called Echidna®", *Tree Physiol*, 29:171–181
- Lefsky M., McHale M. (2008), "Volumes estimates of trees with complex architecture from terrestrial laser scanning", *J Appl Remote Sens*, 2: 023521
- Lemmens M. (2011), *Geo-information: Technologies, Applications and the Environment*, Springer Science+Business Media B.V., Dordrecht, 101-121
- Lichti D.D., Jamtsho S. (2006), "Angular resolution of terrestrial laser scanners", *Photogramm Rec*, 21: 141–160

- Maas H.G., Bienert A., Scheller S., Keane E. (2008), "Automatic forest inventory parameter determination from terrestrial laser scanner data", *Int J Remote Sens*, 29: 1579–1593
- Michel P., Jenkins J., Mason N., Dickinson K.J.M., Jamieson I.G. (2008), "Assessing the ecological application of lasergrammetric techniques to measure fine-scale vegetation structure", *Ecol Inform*, 3: 309–320
- Milan D.J. (2009), *Terrestrial Laser Scan-derived Topographic and Roughness Data for Hydraulic Modelling of Gravel-bed Rivers*, in: Laser scanning for the environmental sciences, Blackwell Publishing Ltd, Chichester, UK
- Milan D.J., Heritage G.L., Large A.R.G., Entwistle N.S. (2010), "Mapping hydraulic biotopes using terrestrial laser scan data of water surface properties", *Earth Surf Process Landforms*, 35: 918–931
- Moorthy I., Miller J.R., Jimenez Berni J.A., Zarco-Tejada P., Hu B., Chen J. (2011), "Field characterization of olive (*Olea europaea* L.) tree crown architecture using terrestrial laser scanning data", *Agric For Meteorol*, 151: 204–214
- Nield J.M., Wiggs G.F.S., Squirrell R.S. (2011) "Aeolian sand strip mobility and protodune development on a drying beach: examining surface moisture and surface roughness patterns measured by terrestrial laser scanning", *Earth Surf Process Landforms*, 36: 513–522
- Pfeifer N., Briese C. (2007), "Laser scanning - Principles and applications", Publication database of the Vienna University of Technology, Austria
- Radtke P.J., Boland H.T., Scaglia G. (2010), "An evaluation of overhead laser scanning to estimate herbage removals in pasture quadrats", *Agric For Meteorol*, 150: 1523–1528
- Reulke R., Haala N. (2004), "Tree species recognition with fuzzy texture parameters", *IWCIA 2004 - Lecture Notes Comput Sci*, 3322: 607–620
- Rosell J.A., Llorens J., Sanz R., Arnó J., Ribes-Dasi M., Masip J., Escolà A., Camp F., Solanelles F., Gràcia F., Gil E., Val L., Planas S., Palacin J. (2009), "Obtaining the three-dimensional structure of tree orchards from remote 2D terrestrial LIDAR scanning", *Agric For Meteorol*, 149: 1505–1515
- Schütt C., Aschoff T., Winterhalder D., Thies M., Kretschmer U., Spiecker H. (2004), "Approaches for recognition of wood quality of standing trees based on terrestrial laser scanner data", *ISPRS*, 36: 8/W2.
- Simonse M., Aschoff T., Spiecker H., Thies M. (2003), "Automatic determination of forest inventory parameters using terrestrial laserscanning". In: *Proc. of the ScandLaser Scientific Workshop on Airborne Laser Scanning of Forests*, Umea, Sweden, pp. 251–257
- Strahler A.H., Jupp D.L.B., Woodcock C.E., Schaaf C.B., Yao T., Zhao F., Yang X., Lovell J., Culvenor D., Newnham G., Ni-Miester W., Bozkin-Morris W. (2008), "Retrieval of forest structure parameters using a ground-based lidar instrument (Echidna®)", *Can J Remote Sens*, 34: 426–440
- Tansey K., Selmes N., Anstee A., Tate N.J., Denniss A. (2009), "Estimating tree and stand variables in a Corsican Pine woodland from terrestrial laser scanner data", *Int J Remote Sens*, 30: 5195–5209
- Van Der Zande D., Mereu S., Nadezhdina N., Cermak J., Muys B., Coppin P., Manes F. (2009), "3D upscaling of transpiration from leaf to tree using ground-based LIDAR: application on a Mediterranean Holm oak (*Quercus ilex*) tree", *Agric For Meteorol*, 149: 1573–1583
- Wilkinson M. et al. (2010), "Partitioned postseismic deformation associated with the 2009 Mw 6.3 L'Aquila earthquake surface rupture measured using a terrestrial laser scanner", *Geophys Res Lett*, 37: L10309
- Xu H., Gosset N., Chen B. (2007), "Knowledge and Heuristic Based Modeling of Laser-Scanned Trees", *Proc. of the 2007 ACM Transactions on Graphics*

## **Rilievi 3D di architetture medievali a Padova: alcuni test fotogrammetrici**

Massimo Fabris, Vladimiro Achilli, Denis Bragagnolo, Andrea Menin

LRG, Laboratorio di Rilevamento e Geomatica, DAUR, Università degli Studi di Padova  
Via Marzolo 9, 35131 Padova, Tel. 049 8271614, Fax: 049 8275582, e-mail: massimo.fabris@unipd.it

### **Riassunto**

Il lavoro si colloca nell'ambito del progetto di ricerca ARMEP (Architettura Residenziale Medievale a Padova) che si pone come obiettivo quello di censire e studiare l'intero patrimonio architettonico privato del centro storico di Padova compreso all'interno delle mura carraresi. Nell'ambito del progetto, il rilievo di alcune architetture è stato effettuato mediante l'integrazione della fotogrammetria digitale, del laser scanning terrestre e delle metodologie topografiche classiche. Inoltre sono stati condotti alcuni test fotogrammetrici basati sulla misura di un numero minimo di punti d'appoggio con la determinazione dei punti necessari all'orientamento delle immagini successive direttamente sui modelli fotogrammetrici restituiti, allo scopo di studiare una procedura di rilievo rapida, a basso costo, efficiente e applicabile in forma estesa soprattutto per richieste di semplificazione operativa in ambito archeologico.

### **Abstract**

The paper is a part of the research project ARMEP (Medieval Residential Architecture at Padova) that aims to catalogue and study the private architectural heritage of the old town of Padova inside to the carraresi walls. In the frame of the project, the survey of some architectural surfaces was performed by means of the integration of different methodologies: terrestrial digital photogrammetry, laser scanning and classical topography. Moreover, some photogrammetric tests were conducted measuring a min number of control points. In this case the known points, necessary for the orientation of the subsequent images, were measured directly on the photogrammetric models extracted. This procedure of orientation can reduce the operations survey in situ and generate low cost photogrammetric models for simplified application in the archaeological sector.

### **Introduzione**

Il progetto di ricerca sulle Architetture Residenziali MEDievali di Padova (ARMEP) nasce con l'esigenza di censire, catalogare e studiare il patrimonio architettonico privato del centro storico di Padova compreso all'interno delle mura carraresi. L'idea principale dalla quale nasce il progetto è che l'economia interagisce con le trasformazioni sociali favorendo la formazione di classi e comportamenti legati alla mobilità sociale e spaziale. L'attività economica produce ricchezza che viene poi ridistribuita ad altri gruppi e ad altre risorse, grazie al suo investimento in attività produttive e nell'architettura.

In questo senso l'analisi delle architetture residenziali costituisce una lente di ingrandimento per osservare la storia sociale ed economica di un centro urbano ([http://www.lettere.unipd.it/discant/CatMedievale/attivita%20scientifica/altre%20web/ARMEP\\_WEB/ARMEP/INDEX%20ARMEP.htm](http://www.lettere.unipd.it/discant/CatMedievale/attivita%20scientifica/altre%20web/ARMEP_WEB/ARMEP/INDEX%20ARMEP.htm)).

Per il rilievo metrico tridimensionale di alcuni edifici sono state utilizzate ed integrate metodologie topografiche classiche per la misura delle reti topografiche di inquadramento e dei punti di controllo e quelle laser scanning e fotogrammetriche terrestri per l'estrazione di modelli 3D texturizzati.

### I rilievi laser scanning

I rilievi 3D laser scanning sono stati effettuati per la definizione delle caratteristiche metriche dell'edificio situato tra via Santa Lucia, via Boccalerie e via Pietro D'Abano e per la Torre degli Anziani nel centro storico di Padova. Prima del rilievo 3D, per entrambi gli edifici, sono state progettate, materializzate e misurate 2 reti topografiche di inquadramento locale per la misura dei target laser scanning in uno stesso sistema di riferimento utilizzando le stazioni integrate Leica TC2003 e TCR1201. Risolta la rete, mediante la compensazione delle misure sovrabbondanti, a partire dai suoi vertici sono stati misurati i target necessari all'allineamento delle scansioni: in particolare, sono stati misurati 28 target relativamente al rilievo dell'edificio di via Santa Lucia e 22 target per la Torre degli Anziani. Le acquisizioni laser scanning sono state effettuate con il laser scanner a tempo di volo Leica HDS2500 per rilevare le superfici delle murature posizionando, prima del rilievo, almeno 5 target retro-riflettenti. Sfortunatamente nelle porzioni più elevate, difficilmente raggiungibili, spesso non è stato possibile posizionare i target. In questo caso le acquisizioni sono state effettuate prevedendo un'ampia sovrapposizione con le scansioni dotate di target laser scanning dovendo effettuare il successivo allineamento per nuvola di punti. E' stato impostato un passo griglia pari a 0.5 cm per l'acquisizione delle nuvole di punti dell'edificio di via Santa Lucia e 1 cm per quelle della Torre degli Anziani. Per il rilievo dell'edificio di via Santa Lucia sono state realizzate 22 scansioni, mentre per il rilievo della Torre degli Anziani sono state necessarie 19 scansioni.

L'allineamento delle nuvole di punti è stato effettuato con il software Cyclone, mentre le operazioni di estrazione di piante, sezioni longitudinali e trasversali, linee di discontinuità, prospetti e texturizzazione sono state realizzate con il software Reconstructor (Besl, McKay, 1992; Chen, Medioni, 1992; Fabris et al., 2010) ottenendo le rappresentazioni 3D di figura 1 per l'edificio di via Santa Lucia e di figura 2 per la Torre degli Anziani.

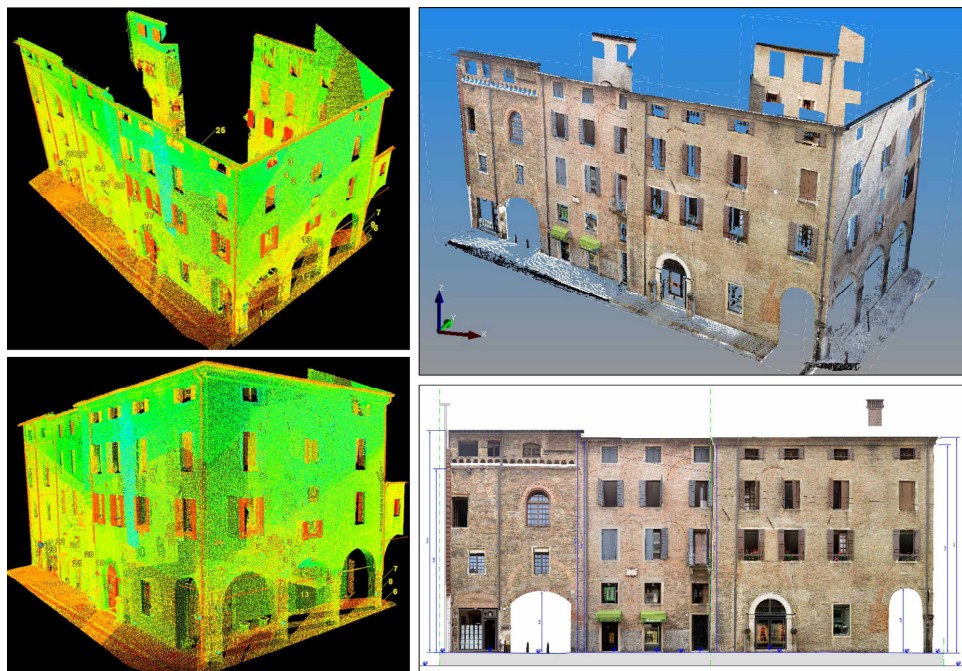


Figura 1 – Modello 3D per nuvola di punti e texturizzato dell'edificio situato tra via Santa Lucia, via Boccalerie e via Pietro D'Abano.

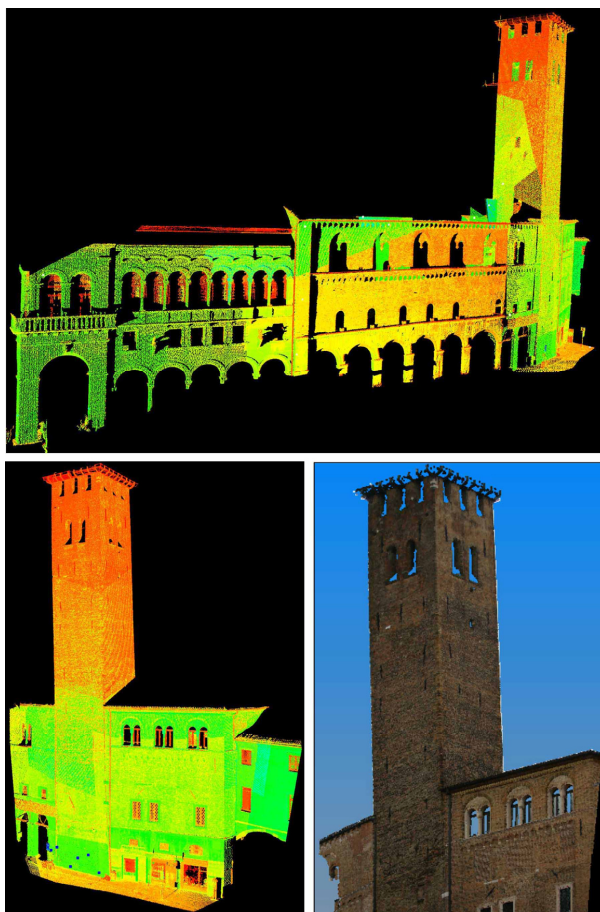


*Figura 2 – Modello 3D per nuvola di punti e texturizzato della Torre degli Anziani.*

### **Il rilievo fotogrammetrico di Casa dell'Angelo**

Anche in questo caso è stata misurata una rete topografica di inquadramento generale dai cui vertici sono state rilevate le coordinate di 102 punti fotografici d'appoggio naturali georiferiti in un unico sistema di riferimento.

Il rilievo 3D è stato effettuato mediante metodologia fotogrammetrica: il progetto di rilievo ha previsto di realizzare strisciate orizzontali con sovrapposizione delle immagini dell'ordine del 60-70% ed una sovrapposizione tra strisciate adiacenti di circa il 20-30%. E' stato previsto di avere, per ogni coppia, almeno 6 punti fotografici d'appoggio di coordinate note rispetto alla rete topografica di inquadramento.

L'elaborazione dei dati è stata realizzata con il software Topcon Image Master Photo: dopo aver orientato i singoli modelli mediante i punti fotografici d'appoggio e la misura di almeno 9 punti di legame, ben distribuiti per ogni coppia di immagini, sono state estratte automaticamente le superfici 3D. Laddove il risultato dell'elaborazione non era soddisfacente, sono state aggiunte *breakline* ed eseguito nuovamente il calcolo. In figura 3 viene rappresentato il modello 3D finale secondo alcuni punti di vista: risultano evidenti difficoltà di estrazione automatica delle superfici dovute alla scarsa correlazione tra le immagini in corrispondenza delle finestre per la presenza del vetro che riflette la luce in modo diverso tra una presa e l'altra.



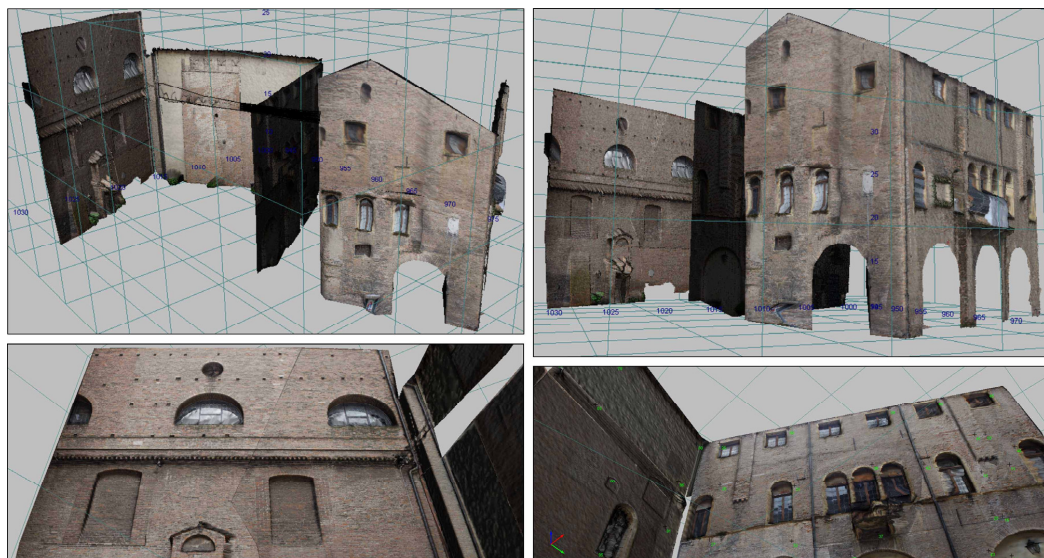


*Figura 3 – Visualizzazione del modello 3D di Casa dell'Angelo ottenuto con il software Topcon Image Master Photo.*

### **Il rilievo 3D della Chiesa di San Daniele**

Il rilievo 3D parziale della Chiesa di San Daniele è stato effettuato integrando le metodologie topografiche classiche con quelle fotogrammetriche. E' stata utilizzata la stazione integrata Leica TCR1201 per la misura della rete topografica di inquadramento locale necessaria per la misura dei punti fotografici d'appoggio indispensabili nell'orientamento delle immagini fotogrammetriche ed il rilievo di dettaglio plano-altimetrico. Sono state effettuate misure sovrabbondanti in modo da compensare i vertici della rete ottenendo deviazioni standard dell'ordine di qualche millimetro.

Il rilievo fotogrammetrico è stato realizzato utilizzando la camera digitale metrica Canon EOS 1 Ds Mark II collocata su una barra calibrata. Sono state acquisite coppie di immagini con sovrapposizione dell'ordine del 60-70% distribuite su differenti strisciate.

Dai vertici della rete topografica sono stati misurati punti naturali caratteristici sulle pareti della Chiesa: questi punti sono stati scelti in modo da essere distribuiti omogeneamente sulle superfici, ben visibili sulle immagini fotogrammetriche e in fase di collimazione con la stazione integrata. Le due pareti acquisite, di particolare interesse per le analisi storico-architettoniche, erano caratterizzate da spazi disponibili differenti: la parete di figura 4 non aveva particolari problemi: per il rilievo della parete, e della Torre campanaria adiacente, sono stati misurati 40 punti fotografici d'appoggio naturali e acquisite 16 immagini disposte su 2 strisciate. L'altra parete (figura 5), invece, si trovava lungo una via stretta, tipica dei centri storici delle città medievali: in questo caso è stato necessario acquisire immagini su 3 strisciate per la copertura verticale della parete. Le immagini sono state acquisite da terra per l'indisponibilità di piattaforme mobili.

Allo scopo di studiare una procedura rapida ed efficiente, riducendo il più possibile il numero di punti fotografici d'appoggio, sono stati effettuati alcuni test fotogrammetrici sulle due pareti acquisite. Sulla parete principale (figura 4) sono stati misurati 30 punti con 8 immagini distribuite su 2 strisciate: in questo modo è stato quindi possibile utilizzare alcuni di questi punti per l'orientamento esterno delle immagini, verificando le precisioni sugli altri (*check points*). Per l'altra parete (figura 5) lo studio è stato effettuato relativamente ad una porzione centrale caratterizzata da 22 punti d'appoggio e 4 immagini acquisite su 2 strisciate.



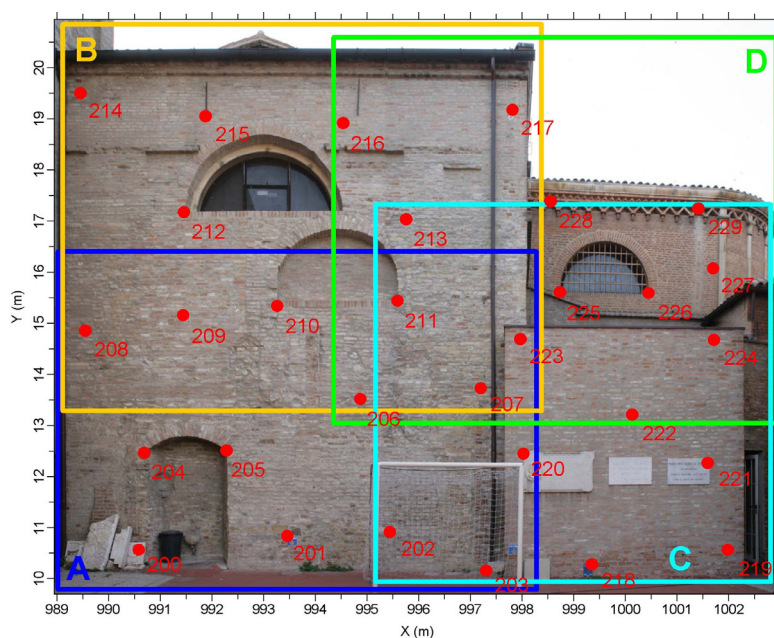


Figura 4 – Localizzazione dei 30 punti fotografici d'appoggio sulla parete principale della Chiesa.

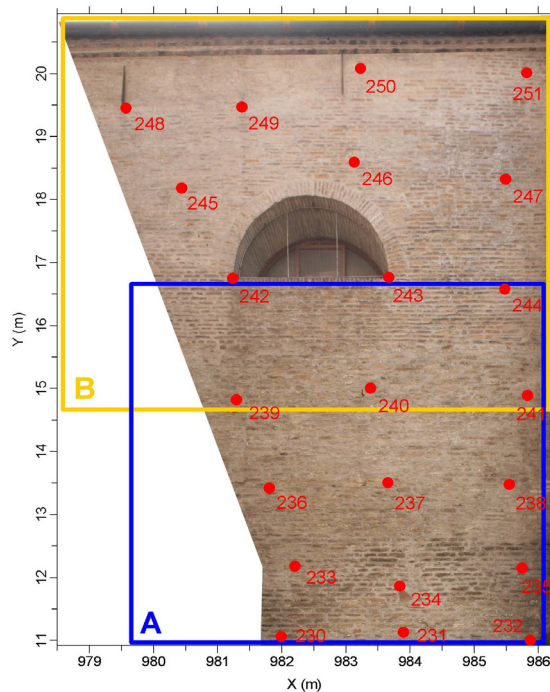


Figura 5 – Localizzazione dei 22 punti fotografici d'appoggio sulla parete secondaria della Chiesa.

### Test fotogrammetrici

Come detto, nell'ambito del rilievo della Chiesa di San Daniele sono stati effettuati alcuni test fotogrammetrici riducendo il numero di punti fotografici d'appoggio per l'orientamento delle immagini. A tal fine, sono stati presi in considerazione 2 prospetti della Chiesa sui quali erano disponibili punti noti sufficienti per essere utilizzati alternativamente come vincoli per l'orientamento delle immagini e come *check points* per valutare le precisioni finali raggiungibili.

Nella prima parete sono state considerate 4 coppie distribuite su due strisciate. Nella seconda parete 2 coppie, in verticale, su 2 strisciate.

#### 1. Orientamento dei singoli modelli con 4 PFA

Utilizzando il software Topcon Image Master Photo, è stato generato il modello fotogrammetrico di ogni coppia utilizzando 4 Punti Fotografici d'Appoggio (PFA) distribuiti approssimativamente in corrispondenza degli spigoli dell'area di sovrapposizione delle immagini. Gli altri punti noti, presenti nell'area della generica coppia, sono stati utilizzati come *Check Points* (CP).

Creando ogni singolo modello con 4 PFA e 9 *tie points* omogeneamente distribuiti, sono state misurate, sul modello fotogrammetrico generato, le coordinate dei CP. La differenza tra le coordinate rispettive di ogni singolo punto, misurate con la stazione integrata e sul modello fotogrammetrico generato, viene visualizzata nelle tabelle 1, 2, 3 e 4 per la parete di figura 4, e 5 e 6 per la parete di figura 5.

| PFA | CP  | $\Delta X$<br>(cm) | $\Delta Y$<br>(cm) | $\Delta Z$<br>(cm) |
|-----|-----|--------------------|--------------------|--------------------|
| 200 |     | 0.1                | 0.0                | 0.0                |
| 202 |     | 0.1                | -0.1               | 0.0                |
| 208 |     | -0.3               | 0.0                | 0.0                |
| 211 |     | 0.1                | 0.2                | 0.0                |
|     | 201 | -0.1               | 0.5                | 0.2                |
|     | 203 | -0.1               | 0.3                | 0.1                |
|     | 204 | 0.3                | 0.5                | 0.7                |
|     | 205 | -0.8               | 0.1                | 1.8                |
|     | 206 | -0.2               | 0.2                | 0.5                |
|     | 207 | 0.3                | 0.5                | 0.1                |
|     | 209 | -0.2               | 0.5                | 0.3                |
|     | 210 | -0.8               | 1.1                | 2.0                |

Tabella 1 – Confronto tra le coordinate di Punti Fotografici d'Appoggio e Check Points misurati topograficamente e sul modello fotogrammetrico (A, figura 4).

| PFA | CP  | $\Delta X$<br>(cm) | $\Delta Y$<br>(cm) | $\Delta Z$<br>(cm) |
|-----|-----|--------------------|--------------------|--------------------|
| 207 |     | -0.1               | -0.5               | -0.1               |
| 208 |     | -0.3               | -0.0               | 0.0                |
| 214 |     | 0.6                | 0.3                | 0.2                |
| 217 |     | -0.3               | 0.2                | -0.1               |
|     | 206 | -0.9               | 0.9                | 1.3                |
|     | 209 | -1.0               | 1.1                | 1.6                |
|     | 210 | -0.8               | 0.8                | 1.0                |
|     | 211 | -0.9               | 0.8                | 1.2                |
|     | 212 | -1.2               | 1.1                | 1.4                |
|     | 213 | -1.3               | 1.5                | 1.6                |
|     | 215 | -2.1               | 2.0                | 2.9                |
|     | 216 | -2.4               | 2.3                | 3.5                |

Tabella 2 – Confronto tra le coordinate di Punti Fotografici d'Appoggio e Check Points misurati topograficamente e sul modello fotogrammetrico (B, figura 4).

Dalle tabelle 1 e 2 si nota come le differenze in corrispondenza dei CP risultino limitate per l'area A (figura 4) ( $M = 0.3$  cm;  $\sigma = 0.5$  cm), mentre sono più consistenti per l'area B (figura 4) ( $M = 0.6$  cm;  $\sigma = 1.6$  cm). Si tratta di due modelli che si riferiscono ad una stessa parete, pressoché piana, tuttavia le immagini inferiori (area A) sono state acquisite in condizioni di presa normale, mentre per quelle superiori (area B) non è stato possibile usufruire di carrelli elevatori o ponteggi allontanandosi così dalla presa normale.

Considerazioni analoghe si possono estendere alle tabelle 3 e 4: in questo caso i valori di media e deviazione standard sui CP risultano superiori anche a causa della presenza di pareti su piani diversi (area C, figura 4,  $M = 1.6$  cm;  $\sigma = 3.6$  cm) (area D, figura 4,  $M = 1.8$  cm;  $\sigma = 3.3$  cm).

La tabella 5, che si riferisce alla parete secondaria (area A, figura 5), fornisce sui CP una  $M = 0.0$  cm e  $\sigma = 0.3$  cm sia per il fatto che la parete è piana, sia perché la distanza camera-oggetto risulta

inferiore rispetto al caso precedente (4 m circa) e le condizioni di presa sono prossime a quelle del caso normale. I valori invece peggiorano per il modello superiore (area B, figura 5) per il quale si ottiene  $M = 0.5$  cm e  $\sigma = 2.5$  cm (parete piana ma condizioni di presa lontane dal caso normale).

| PFA | CP  | $\Delta X$<br>(cm) | $\Delta Y$<br>(cm) | $\Delta Z$<br>(cm) |
|-----|-----|--------------------|--------------------|--------------------|
| 202 |     | 0.0                | -0.1               | 0.0                |
| 211 |     | 0.0                | 0.0                | 0.0                |
| 219 |     | -0.1               | 0.1                | 0.0                |
| 229 |     | 0.0                | 0.0                | 0.0                |
|     | 203 | -0.4               | 1.5                | 0.2                |
|     | 207 | -1.6               | 1.1                | 4.2                |
|     | 218 | -0.4               | -0.3               | 1.6                |
|     | 220 | -1.1               | 0.4                | 2.2                |
|     | 221 | -0.4               | -0.2               | -0.2               |
|     | 222 | -0.5               | 0.2                | -0.1               |
|     | 223 | -1.1               | 0.9                | 2.3                |
|     | 224 | -0.9               | 0.2                | 0.7                |
|     | 225 | -1.2               | 5.0                | 12.6               |
|     | 226 | -0.7               | 4.8                | 10.3               |
|     | 227 | -0.8               | 5.1                | 11.2               |

Tabella 3 – Confronto tra le coordinate di Punti Fotografici d'Appoggio e Check Points misurati topograficamente e sul modello fotogrammetrico (C, figura 4).

| PFA | CP  | $\Delta X$<br>(cm) | $\Delta Y$<br>(cm) | $\Delta Z$<br>(cm) |
|-----|-----|--------------------|--------------------|--------------------|
| 230 |     | 0.2                | 0.0                | -0.2               |
| 232 |     | -0.1               | -0.3               | -0.1               |
| 239 |     | 0.4                | 0.3                | 0.1                |
| 244 |     | -0.4               | 0.2                | -0.2               |
|     | 231 | -0.1               | -0.6               | 0.0                |
|     | 233 | 0.0                | -0.2               | 0.0                |
|     | 234 | -0.1               | -0.3               | 0.1                |
|     | 235 | 0.1                | 0.0                | 0.1                |
|     | 236 | -0.1               | 0.0                | 0.0                |
|     | 237 | 0.2                | 0.1                | 0.2                |
|     | 238 | -0.2               | -0.1               | -0.1               |
|     | 240 | 0.5                | 0.4                | 0.1                |
|     | 241 | 0.6                | 0.5                | -0.3               |

Tabella 5 – Confronto tra le coordinate di Punti Fotografici d'Appoggio e Check Points misurati topograficamente e sul modello fotogrammetrico (A, figura 5).

| PFA | CP  | $\Delta X$<br>(cm) | $\Delta Y$<br>(cm) | $\Delta Z$<br>(cm) |
|-----|-----|--------------------|--------------------|--------------------|
| 207 |     | -0.3               | 0.2                | -0.1               |
| 216 |     | 0.4                | 0.0                | 0.4                |
| 221 |     | 0.3                | -0.5               | -0.1               |
| 229 |     | -0.4               | 0.3                | -0.1               |
|     | 211 | -1.1               | 1.0                | 1.2                |
|     | 213 | -1.0               | 1.1                | 1.2                |
|     | 217 | -0.5               | 4.2                | 4.8                |
|     | 220 | -0.8               | -0.2               | -0.8               |
|     | 222 | -0.6               | -0.1               | -0.4               |
|     | 223 | -1.5               | 1.4                | 1.8                |
|     | 224 | -0.4               | 1.0                | 1.7                |
|     | 225 | -1.2               | 5.9                | 10.8               |
|     | 226 | -1.0               | 4.5                | 7.3                |
|     | 227 | -1.0               | 4.1                | 6.8                |
|     | 228 | -1.3               | 5.5                | 8.9                |

Tabella 4 – Confronto tra le coordinate di Punti Fotografici d'Appoggio e Check Points misurati topograficamente e sul modello fotogrammetrico (D, figura 4).

| PFA | CP  | $\Delta X$<br>(cm) | $\Delta Y$<br>(cm) | $\Delta Z$<br>(cm) |
|-----|-----|--------------------|--------------------|--------------------|
| 239 |     | 0.4                | -0.1               | 0.1                |
| 241 |     | -0.3               | -0.2               | -0.1               |
| 248 |     | 0.3                | 0.2                | 0.1                |
| 251 |     | -0.5               | 0.1                | -0.1               |
|     | 240 | 0.1                | 1.2                | -1.1               |
|     | 242 | -0.4               | 3.3                | -2.4               |
|     | 243 | -0.8               | 2.3                | -1.6               |
|     | 244 | 1.0                | 2.5                | -0.8               |
|     | 245 | 0.4                | 3.2                | -0.9               |
|     | 246 | -0.3               | 3.4                | -1.1               |
|     | 247 | -0.2               | 3.5                | -1.3               |
|     | 249 | -0.2               | 5.8                | -3.3               |
|     | 250 | -0.3               | 6.4                | -3.5               |

Tabella 6 – Confronto tra le coordinate di Punti Fotografici d'Appoggio e Check Points misurati topograficamente e sul modello fotogrammetrico (B, figura 5).

## 2. Orientamento di 2 modelli con 4 PFA

Nel tentativo di ridurre ulteriormente il numero di punti necessari all'orientamento, sono stati considerati solo 4 PFA per ogni modello ed orientate le coppie delle zone A e C della parete di

figura 4 ed A della parete di figura 5. Prendendo in considerazione il primo modello (A), sul fotogrammetrico così orientato sono state misurate le coordinate di punti naturali che fossero ben visibili anche sul modello superiore (B): i punti così ottenuti sono stati utilizzati come se fossero PFA per l'orientamento esterno della coppia della zona B; sono stati cioè trasferiti i punti di controllo: misurati su un modello fotogrammetrico orientato in modo rigoroso, vengono utilizzati come PFA per l'orientamento del successivo. Questo è stato fatto per la coppia dell'area A di figura 4 sulla quale è stata orientata quella dell'area B sempre di figura 4, per quella dell'area C sulla quale è stata orientata quella dell'area D (figura 4) e per quella dell'area A di figura 5 sulla quale è stata orientata quella dell'area B (figura 5). Come nel caso precedente, su questi 3 modelli complessivamente orientati sono state misurate le coordinate dei CP e confrontate con quelle ottenute dal rilievo topografico. Nelle tabelle 7 ed 8 vengono riportate le differenze rispettive per le 2 coppie del primo modello (A e B) e le 2 coppie del secondo modello (C e D).

| PFA | CP  | $\Delta X$<br>(cm) | $\Delta Y$<br>(cm) | $\Delta Z$<br>(cm) |
|-----|-----|--------------------|--------------------|--------------------|
| 200 |     | 0.1                | -0.1               | 0.0                |
| 203 |     | -0.1               | -0.1               | 0.0                |
| 208 |     | 0.1                | 0.2                | 0.0                |
| 211 |     | -0.1               | 0.0                | 0.0                |
|     | 201 | 0.6                | 0.7                | -0.9               |
|     | 202 | 0.4                | 0.5                | 0.1                |
|     | 204 | 1.0                | 0.2                | -0.3               |
|     | 205 | 0.1                | 0.0                | 0.5                |
|     | 206 | 0.3                | 0.2                | 1.1                |
|     | 207 | 0.5                | 0.6                | 1.7                |
|     | 209 | 0.1                | 0.2                | 0.0                |
|     | 210 | 0.1                | 0.2                | -0.1               |
|     | 212 | 0.5                | 0.6                | 1.7                |
|     | 213 | 0.6                | 0.4                | 1.5                |
|     | 214 | 1.1                | 2.4                | 2.9                |
|     | 215 | 1.0                | 2.3                | 2.9                |
|     | 216 | 0.4                | 2.3                | 2.7                |
|     | 217 | 1.7                | 1.5                | 0.6                |

*Tabella 7 – Confronto tra le coordinate di Punti Fotografici d'Appoggio e Check Points misurati topograficamente e sul modello fotogrammetrico (A+B, figura 4).*

| PFA | CP  | $\Delta X$<br>(cm) | $\Delta Y$<br>(cm) | $\Delta Z$<br>(cm) |
|-----|-----|--------------------|--------------------|--------------------|
| 202 |     | 0.0                | -0.4               | 0.0                |
| 211 |     | 0.1                | 0.4                | 0.0                |
| 219 |     | -0.2               | 0.1                | 0.0                |
| 224 |     | 0.1                | -0.1               | 0.0                |
|     | 203 | 0.4                | -0.1               | -1.2               |
|     | 207 | 3.7                | -4.9               | 2.4                |
|     | 213 | 2.3                | -2.9               | 2.8                |
|     | 217 | 3.4                | 3.7                | 4.0                |
|     | 218 | 0.2                | -0.4               | -1.1               |
|     | 220 | 0.9                | -0.4               | -2.9               |
|     | 221 | 1.0                | -1.0               | -2.0               |
|     | 222 | 0.1                | -0.5               | -1.8               |
|     | 223 | 1.5                | -2.0               | -1.1               |
|     | 225 | 2.9                | -9.3               | 14.2               |
|     | 226 | 1.4                | -9.1               | 14.6               |
|     | 227 | 1.5                | -9.2               | 14.8               |
|     | 228 | 3.3                | -10.0              | 13.0               |
|     | 229 | 2.0                | -11.2              | 15.6               |

*Tabella 8 – Confronto tra le coordinate di Punti Fotografici d'Appoggio e Check Points misurati topograficamente e sul modello fotogrammetrico (C+D, figura 4).*

Nel primo caso (tabella 7), trattandosi di una parete quasi piana, l'analisi sui CP ha fornito  $M = 0.7$  cm e  $\sigma = 0.9$  cm con valori più elevati per i CP lontani dal solido dei PFA. Nel secondo caso (tabella 8), trattandosi di superfici su piani diversi, i valori di media e deviazione standard sui CP risultano molto elevati, particolarmente, come atteso, sulle pareti sprovviste di PFA:  $M = 2.9$  cm,  $\sigma = 5.6$  cm. In figura 6 viene riportata una rappresentazione planimetrica dei modelli C e D con indicazione dei 4 PFA e i vettori ottenuti dalla differenza sulle coordinate dei CP tra misure topografiche e fotogrammetriche. Nell'ultimo caso, relativo alla parete secondaria della Chiesa (A+B, figura 5), sono stati ottenuti valori di media e deviazione standard simili al primo caso ( $M = 0.4$  cm e  $\sigma = 0.8$  cm).

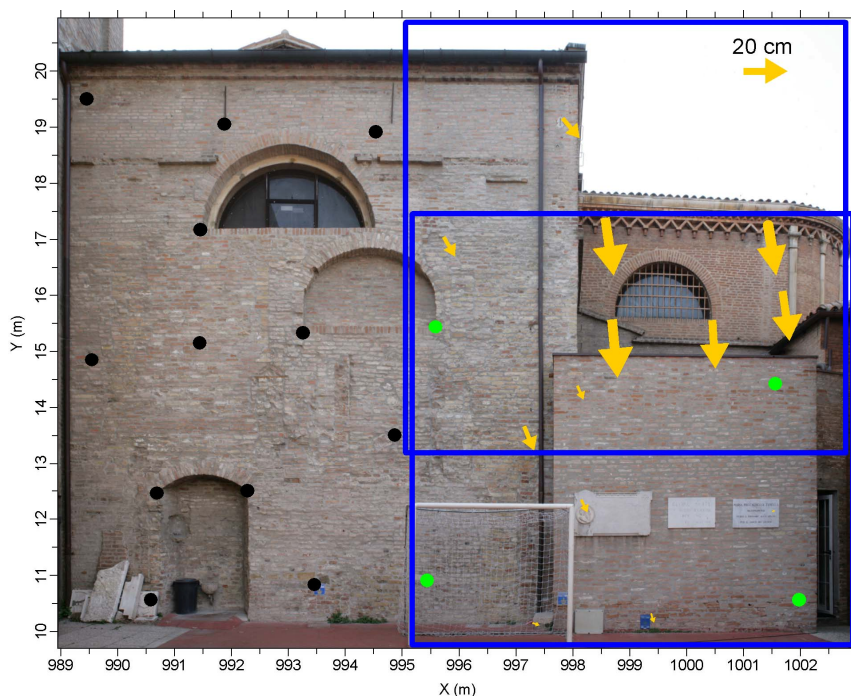


Figura 6 – Rappresentazione delle differenze sui CP relativamente all'orientamento in un unico blocco dei modelli C e D di figura 4.

### 3. Orientamento di 4 modelli con 4 PFA

Uno studio ulteriore è stato realizzato per orientare il primo modello in modo rigoroso (zona A, figura 4) utilizzando 4 PFA e 9 *tie points*, misurando successivamente i PFA necessari per l'orientamento delle altre 3 coppie (zone B, C e D) direttamente sul modello orientato.

Come in precedenza, sono stati scelti punti naturali ben visibili anche sulle immagini dell'area superiore (B) e laterale (C). Orientato anche il modello laterale, su questo sono stati misurati ulteriori punti utilizzati come PFA per l'orientamento dell'ultimo modello (D). Quindi sono state misurate le coordinate dei CP sul modello fotogrammetrico finale e confrontate con quelle ottenute dal rilievo topografico.

La figura 7 visualizza i risultati ottenuti: anche in questo caso la mancanza di PFA in corrispondenza delle pareti su piani diversi da quello iniziale fornisce un risultato finale non utilizzabile ai fini metrici.

### 4. Orientamento dei singoli modelli con 6 PFA

In questo caso, oltre ai 4 PFA distribuiti sui 4 spigoli della generica stereo-coppia, sono stati considerati anche altri 2 PFA, localizzati nella porzione centrale del modello fotogrammetrico e disposti su piani differenti nel caso di superfici non complanari (figura 8). I risultati hanno fornito miglioramenti considerevoli per tutti i modelli: mediamente è stato osservato un dimezzamento dei valori della deviazione standard sui CP rispetto all'orientamento dei modelli con 4 PFA.





Figura 7 – Rappresentazione delle differenze sui CP relativamente all'orientamento in un unico blocco dei modelli A, B, C e D di figura 4 (partendo dall'orientamento del modello A).



Figura 8 – Localizzazione dei PFA (in verde) e dei CP (in rosso) nell'orientamento di ogni singolo modello con almeno 6 PFA.



### Estrazione delle superfici 3D

Ottenuto il modello fotogrammetrico complessivo, sono state estratte le superfici 3D delle porzioni analizzate (software Topcon Image Master Photo). Con un passo griglia di 5 cm sono stati generati punti 3D dalla correlazione delle immagini digitali. Nelle aree di scarsa correlazione e in quelle dove il risultato tridimensionale non risultava soddisfacente, l'estrazione automatica delle superfici è stata effettuata dopo l'inserimento delle *breakline* caratteristiche dell'area considerata. La figura 9 visualizza una porzione del modello finale della Chiesa e dell'adiacente Torre campanaria.

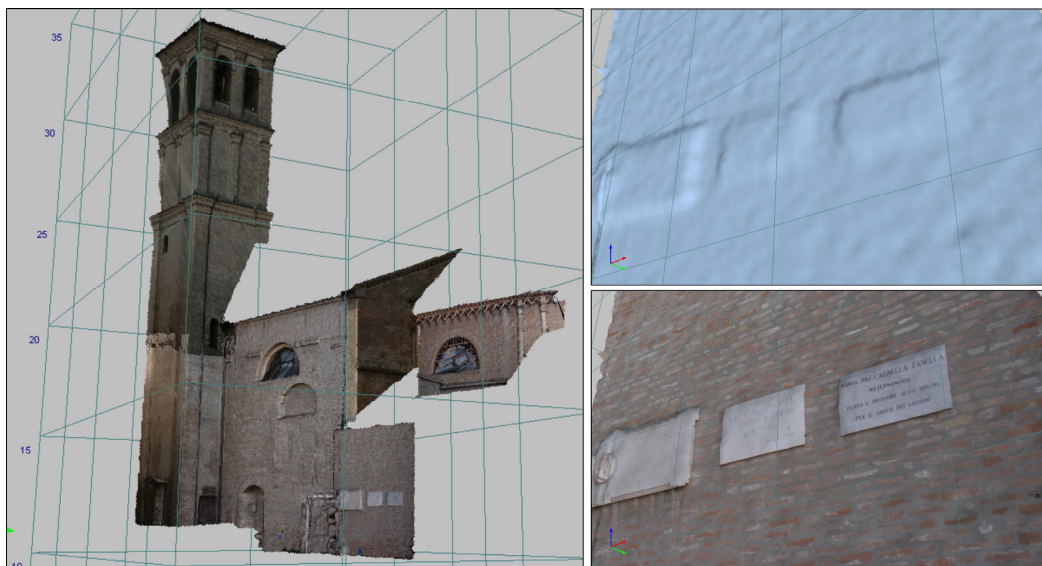


Figura 9 – Visualizzazione di una porzione del modello 3D della Chiesa di San Daniele e della Torre campanaria con un dettaglio rappresentato per superficie 3D e con la relativa texture.

Dall'analisi dei dettagli della figura 9 si nota come le superfici generate automaticamente presentino valori “rumorosi” e “smoothing” pronunciati (Fabris et al., 2009; Achilli et al., 2011): la lettura della tessitura muraria non è evidenziabile dall'analisi per superfici ma soltanto sulla corrispondente texture, sia a causa del rumore presente, sia per aver estratto le superfici con passo griglia di 5 cm.

### Conclusioni

Nell'ambito di questo lavoro sono state utilizzate ed integrate le metodologie di rilievo topografico classico con quelle laser scanning e fotogrammetriche terrestri. Il laser scanner a tempo di volo è stato utilizzato per il rilievo 3D dell'edificio situato tra le vie Santa Lucia, Boccalerie e Pietro D'Abano e la Torre degli Anziani a Padova. La fotogrammetria digitale è stata utilizzata per il rilievo di Casa dell'Angelo e di una porzione della Chiesa di San Daniele.

In quest'ultimo caso sono stati effettuati alcuni test fotogrammetrici allo scopo di studiare una procedura di rilievo rapida, a basso costo, efficiente e applicabile in forma estesa soprattutto per richieste di semplificazione operativa in ambito archeologico. E' stato testato un approccio basato sulla misura di un numero minimo di Punti Fotografici d'Appoggio con la determinazione dei punti necessari all'orientamento delle immagini successive, direttamente sui modelli fotogrammetrici restituiti. Il confronto dei risultati ottenuti, per la stima della precisione, è stato effettuato con punti naturali noti utilizzati come *Check Points*.

In una prima fase, utilizzando il software Topcon Image Master Photo, sono stati orientati 6 modelli fotogrammetrici utilizzando 4 PFA per ogni modello: i risultati hanno fornito buone precisioni ( $\sigma <$

0.5 cm sui CP) nel caso di pareti pseudo-piane e condizioni di presa quasi normali (tabelle 1 e 5). Nel caso invece di pareti disposte su piani differenti o pareti piane ma condizioni di presa lontane dal caso normale, 4 PFA risultano non sufficienti ( $\sigma > 1.6$  cm, tabelle 2, 3, 4 e 6): in queste situazioni è necessario incrementare il numero dei PFA, distribuiti sui piani interessati dal rilievo, con almeno una coppia di punti per ogni parete collocata su piani diversi (in questi casi, nei 6 modelli analizzati, l'utilizzo di 6 PFA ha fornito un dimezzamento nei valori della deviazione standard sui CP).

Anche l'orientamento di un singolo modello (con 4 o 6 PFA) e la misura di altri punti noti sul modello fotogrammetrico orientato per l'orientamento dei modelli vicini, comporta un errore sui CP dei nuovi modelli orientati non accettabile, anche per un singolo nuovo modello aggiunto: come atteso, è indispensabile che i PFA siano distribuiti omogeneamente sull'area interessata dal rilievo; nei casi studiati, si ottengono valori inaccettabili appena ad di fuori del solido formato dai PFA.

Concludendo, ai fini della precisione del modello fotogrammetrico complessivamente generato, l'utilizzo di 4 PFA per ogni coppia di immagini è possibile solo nel caso di pareti pressoché piane e condizioni di presa prossime al caso normale. Nel caso di superfici più complesse l'utilizzo di 6 PFA può generare modelli 3D che, rinunciando ad una precisione spinta, rappresentano un buon compromesso negli studi di oggetti tridimensionali in ambito archeologico.

### **Bibliografia**

Achilli V, Fabris M, Bragagnolo D, Grassi MT, Menin A, Targa G. (2011), "Rilievi 3D ad alta risoluzione nell'antica città di Palmyra (Siria) mediante metodologie geomantiche", *Atti del Convegno "Geomatica. Le radici del futuro"*, Pavia, 10-11 febbraio, 2011, 117-122. Edizioni SIFET. ISBN: 88-901939-6-4.

Besl PJ, McKay N.D. (1992), "A method for registration of 3-D shapes", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 14 (2): 239-256

Chen Y, Medioni G. (1992), "Object modelling by registration of multiple range images", *Image and Vision Computing*, 10 (3): 145-155

Fabris M, Achilli V, Artese G, Boatto G, Bragagnolo D, Cancheri G, Meneghello R, Menin A, Trecroci A. (2009), "High resolution data from laser scanning and digital photogrammetry terrestrial methodologies. Test site: an architectural surface", *ISPRS The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVIII, part 3/W8: 43-48

Fabris M, Boatto G, Achilli V. (2010), "3D laser scanning surveys in the modelling of cultural heritage", *Invited chapter in Recent Advances in Non Destructive Inspection (C. Meola Editor) NovaScience Publishers*, 2010, 1-32. ISBN: 978-1-61728-082-5 (ebook) ISBN: 978-1-61668-550-8 (hardcover).

[http://www.lettere.unipd.it/discant/CatMedievale/attivita%20scientifica/altre%20web/ARMEP\\_WEB/ARMEP/INDEX%20ARMEP.htm](http://www.lettere.unipd.it/discant/CatMedievale/attivita%20scientifica/altre%20web/ARMEP_WEB/ARMEP/INDEX%20ARMEP.htm)

## **Aggiornamento delle linee guida per la rappresentazione della Carta Geologica al 50.000**

Silvana Falcetti, Domenico Tacchia

ISPRA, Dip. Difesa del Suolo - Servizio Geologico d'Italia, Via Curtatone, 3 00185 Roma, Tel. 06 50074344  
Fax 06 50072436, silvana.falcetti@isprambiente.it; domenico.tacchia@isprambiente.it

### **Riassunto**

Di seguito sono sinteticamente illustrati i contenuti del Quaderno n. 12, pubblicato dal Servizio Geologico d'Italia del Dipartimento Difesa del Suolo dell'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) tra le Linee Guida del Progetto CARG per la realizzazione della nuova Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. La guida è frutto del lavoro congiunto di più professionalità ed allinea, aggiorna ed integra i Quaderni n. 2 e n. 6, pubblicati rispettivamente nel 1996 e nel 1997, il primo relativo alla rappresentazione cartografica ed il secondo alla Banca Dati geologica. Esso contiene la libreria dei simboli da utilizzare nella cartografia geologica ufficiale opportunamente allineata con gli strati informativi previsti nella Banca Dati. Si tratta di una pubblicazione certamente utile non solo agli operatori del Progetto CARG ma a quanti operano nella cartografia tematica anche con ausilio di sistemi informativi.

### **Abstract**

*The contents of the Quaderno n. 12, published by the Geological Survey of Italy - Department of Soil ISPRA (Institute for Environmental Protection and Research) between Guidelines of the CARG Project for the realization of the new Geological Map of Italy at the 1:50.000 scale are here briefly outlined. The guide is the result of synergy of different professionals and aligns, integrates and updates the Quaderno n. 2 and 6, published in 1996 and 1997, focused the first on the geological mapping and the second to the geological database. Contains the library of symbols to be used in the official geological mapping appropriately aligned with the layers of information provided in the Data Base. This publication will certainly be useful not only to operators of the CARG Project but also those who work in the thematic maps with the help of information systems.*

### **Introduzione**

La collana editoriale dei Quaderni serie III contenenti le Linee Guida per la pubblicazione della nuova cartografia geologica alla scala 1:50.000 del territorio nazionale, pubblicata dal Servizio Geologico d'Italia del Dipartimento Difesa del Suolo dell'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) in qualità di Organo Cartografico dello Stato ai sensi dell'art. 1 della legge 2.2.60 n. 68, si è arricchita, nel corso del 2009, di un nuovo numero, il Quaderno n. 12, che aggiorna, integra ed allinea, tra le altre, le normative per l'allestimento e la stampa della Cartografia Geologica Ufficiale alla scala 1:50.000.

La guida, frutto del lavoro congiunto di più professionalità interne al Servizio riunite nel GLINT, allinea in particolare i Quaderni n. 2 e n. 6 pubblicati rispettivamente nel 1996 e nel 1997, il primo avente per oggetto la rappresentazione cartografica ed il secondo la Banca Dati geologica. Sono sostanzialmente due le questioni che hanno sollecitato i responsabili del Servizio ad inserire questa tra le attività necessarie al progetto di cartografia geologica nazionale. Da una parte la necessaria revisione di quanto a suo tempo pubblicato, con conseguente conferma, cancellazione, sostituzione o modifica delle scelte allora operate, e dall'altra il doveroso aggiornamento con nuove proposte

scaturite dalla campagna in corso per il rilevamento di nuovi fogli della carta geologica nazionale (Progetto CARG). Il confronto tra le versioni dei diversi quaderni chiarisce la portata e l'impegno, non indifferente, di verifica sistematica di ciascuna delle componenti che gli addetti hanno dovuto operare. E' da ricordare peraltro che la prima pubblicazione delle normative cartografiche non comprendeva ancora la Banca Dati geologica (pubblicata l'anno successivo) anche se già organizzata con chiaro riferimento alla possibile implementazione di dato numerico. Nella nuova linea guida è stata operata di fatto la fusione delle diverse componenti prevedendo l'unificazione delle nomenclature geologiche, le collocazioni negli *item* della Banca Dati con revisione dei vincoli di congruità e, ove del caso, una nuova definizione di rappresentazione geometrica con raggruppamento, seppure parziale, per tipologia di evento con relativo cromatismo di corrispondenza.

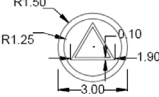
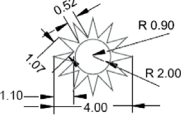
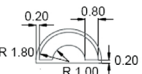
Diversi sono gli aspetti di rappresentazione cartografica trattati.

### Libreria dei simboli

La nuova libreria dei simboli è composta in 46 schede presentate, contrariamente a quanto previsto nel Quaderno n. 2 del 1996, con riferimento alla nomenclatura degli strati informativi della Banca Dati. Questo stesso modello di presentazione è stato ampiamente discusso dal GLINT per le diverse esigenze attese dalle varie professionalità: per il geologo raggruppando tutti gli elementi presenti nel medesimo fenomeno (ad esempio tutti quelli che descrivono strutture vulcaniche); per il cartografo secondo la tipologia grafica di ciascun simbolo (lineare, puntuale, areale ecc. - operato nel Quaderno n. 2 -) mentre per l'informatico secondo la collocazione nello strato informativo previsto nella Banca Dati (come operato infine nel Quaderno n. 12). E' stata poi scelta quest'ultima modalità per evitare di stampare tre diverse versioni della medesima libreria anche se la sua consultazione richiede un particolare sforzo per le altre professionalità.

Le varie schede sono individuate, organizzate e sistematizzate seguendo il nome dei diversi strati presenti nella BD geologica anche per permettere una corretta lettura delle eventuali specifiche derivate dalla gestione numerica, mentre i singoli simboli sono individuati e numerati con il valore dell'*item* "Tipo" della medesima BD.

#### strato10 - punti - elementi geomorfologici ed antropici

| valore BD<br>item "tipo" | descrizione                   | simbolo<br>alla scala<br>della carta                                                | specifiche<br>dimensionali                                                          | punto<br>ancoraggio                                                                 | colore/<br>codice<br>BD | strato |
|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------|
| 5090                     | cono di scorie                |  |  |  | Panone 470<br>120000    |        |
| 5095                     | cono di pomici                |  |  |  | Panone 470<br>120000    |        |
| 5110                     | emergenza di tunnel<br>lavico |  |  |  | Panone 470<br>120000    |        |

*Stralcio della nuova scheda simboli geologici pubblicata nel Quaderno n. 12.*

Questa corrispondenza permette di ritrovare, nelle equivalenti schede della BD, le stesse collocazioni informative integrate, ovviamente, con la specifica dei criteri di attribuzione dei valori

ammessi e dei vincoli cui debbono sottostare. Come per l'edizione del 1996 è presente la descrizione del simbolo (unificata in relazione

al fenomeno da rappresentare ed imposta come unica nomenclatura possibile in legenda), la rappresentazione grafica alla scala della carta ed il dettaglio con le specifiche delle misure e degli ancoraggi per sistemi informativi. In ultimo è stato indicato il colore di rappresentazione in carta secondo la nomenclatura del sistema Pantone (lasciato come riferimento necessario alla tipografia) e la notazione del Manuale Cromatico di riferimento per la stampa della cartografia geologica, pubblicato nel 2002, corrispondente al valore dell'*item* "colore" previsto in BD.

### **Integrazioni e modifiche alla libreria dei simboli**

Come detto molte sono state le integrazioni e/o le sistematizzazioni dei simboli previsti nella prima libreria pubblicata nel 1996. Gran parte derivano invero da richieste di integrazioni tenuto conto che la prima era costruita su una convinzione, in parte smentita dai fatti successivi, che si basava sulla semplificazione dei contenuti della carta in stampa alla scala 1:50.000, perché tutte le informazioni di rilevamento, senza alcuna semplificazione, sarebbero confluite in una BD consultabile nel caso di necessità di maggior dettaglio. Il venir meno di questo assunto originario del progetto CARG ha comportato una apertura quasi incondizionata alla proposta di inserimento di nuova simbologia per indicare fenomeni ritenuti in un primo tempo degni certamente di essere conservati nella BD ma non di essere riportati alla scala di stampa della carta. Allora non era certo così diffuso l'uso di sistemi informativi e per i vari autori era pressoché indispensabile la pubblicazione a stampa del dato faticosamente rilevato in campagna. Non che oggi sia tanto diversa la situazione anzi è proprio l'uso di sistemi numerici che ha di fatto aumentato il dettaglio della carta potendo permettere ingrandimenti delle varie aree un tempo impensabili.

Non si è trattato comunque del solo inserimento di nuovi simboli inizialmente non previsti ma di una sistematizzazione piuttosto approfondita di particolari situazioni geologiche presenti in abbondanza nella penisola italiana. Anzitutto la completa rivisitazione della simbologia prevista nelle aree vulcaniche operata nel 2005 (Indicazioni per la cartografia delle aree vulcaniche di V. Ricci e L. Vita - Cap. 7 Quaderno n. 12 serie III fascicolo III) e sperimentata nella formazione e successiva pubblicazione del foglio della Carta Geologica d'Italia n. 625 "Acireale" (pubblicato nel 2009) che comprende la porzione nord orientale dell'area vulcanica dell'Etna. Sono stati inseriti o diversamente cartografati nuovi simboli areali con definizione sia degli elementi iconografici di rappresentazione che quelli di ordine geologico attribuendo, come nella prassi della simbologia del Servizio, la giusta mediazione tra le esigenze delle professionalità coinvolte in questa scelta, verificandone poi il risultato nelle varie prove della carta citata. Anche gli elementi lineari sono stati riordinati in ragione sia delle istanze provenienti dai vari rilevatori che di quelle propriamente legate all'aggiornamento delle novità nel campo scientifico per aree di questa natura che, com'è noto, sono piuttosto specifiche per la penisola italiana.

Un particolare lavoro di aggiornamento è stato invece compiuto per le aree marine. In questo caso sono stati operati una serie di interventi organici, all'interno della banca dati geologica, che hanno comportato l'integrazione di corrispondenti fenomeni sotto il livello delle acque con quelli delle aree emerse. Non sono stati inseriti nuovi strati informativi della banca dati ma sono segnalati all'interno dei vari strati, in apposito raggruppamento, tutti i nuovi elementi e relativi attributi ammessi per la descrizione della geologia marina. Peraltro non si è trattato solo di inserimento di simboli nei vari elementi geometrici puntuali, lineari od areali ma anche della possibilità di descrivere o raggruppare in caratteristici ambienti sottomarini i vari fenomeni riscontrati dai rilevamenti diretti oppure effettuati attraverso specifiche strumentazioni (*Side Scan Sonar*; scandaglio *multibeam* ecc.). Per quanto riguarda l'indicazione di ordine cartografico si è stabilito di attenuare in modo sostanziale il cromatismo previsto per le medesime formazioni presenti nelle aree emerse. La necessità scaturisce dalla ovvia considerazione di evidenziare elementi della base topografica per orientare in modo corretto il lettore della carta. In tal senso la presenza dell'acqua sugli elementi geologici da rappresentare non poteva certamente passare in secondo piano. In realtà

questa indicazione scaturiva già a valle della sperimentazione compiuta su alcuni fogli della scala 1: 50.000 in corso di rilevamento oppure pubblicati con presenza di dati sulle aree sommerse. Alcuni di questi fogli risalgono addirittura al 2002 come il n. 223 "Ravenna" non ancora, evidentemente, del tutto allineato alla nuova normativa. Più allineati invece i fogli n. 541 "Jerzu" e n. 549 "Muravera" del medesimo anno di pubblicazione nei quali, pur nel limitato spazio disponibile per le informazioni su aree sommerse, ben evidente appare l'indicazione cartografica di attuazione cromatica per medesime informazioni presenti sia in aree emerse che sommerse. La sperimentazione più significativa appare comunque quella compiuta sui fogli n. 128 "Venezia" e nn. 148/149 "Chioggia-Malamocco" pubblicati nell'anno 2007 anche per la presenza, nel primo, dell'importante area lagunare. La scelta di attenuare i timbri cromatici per le aree sommerse dipende anche dalla necessità di sommare, all'interno delle stesse, più informazioni scientifiche di diversa natura. In particolare la presenza degli elementi di tessitura (nei canonici raggruppamenti limo, argilla, sabbia e ghiaia e loro possibili combinazioni) spesso sovrapposti, oltre alle isobate, ad isolinee riguardanti gli spessori dei sedimenti scaturiti da indagini geognostiche. Ed anzi per attenuare possibili interferenze degli elementi descritti sono state introdotte percentuali di timbri di base da applicare ad alcuni di essi per mitigare l'impatto in carta: vedi nella colonna dei cromatismi la presenza nelle schede dei simboli del colore riservato agli elementi idrogeologici - in genere il Process blue2 - da stampare al 50% o al 70% della massima intensità. È questa una deroga piuttosto significativa ai criteri cartografici previsti nel progetto CARG. In esso infatti simboli puntuali o lineari non sono mai trattati con percentuali di cromatismi ma sempre con colore pieno "barattolo" indicato con il Pantone o semplicemente con il 100% nella notazione del Manuale Cromatico del 2002. Questo sia per una maggiore incisività del simbolo con pellicola propria sia per differenziarli in modo significativo dai cromatismi ottenuti con la quadricromia. Trattasi comunque, come indicato nello stesso Quaderno n. 12, di normativa cartografica in corso di sperimentazione per la quale, ancorché utilizzata nei fogli in corso di rilevamento, appare necessario un congruo periodo applicativo per confermarne la validità.

In ultimo l'aggiornamento non poteva non riguardare la rivisitazione e riorganizzazione dei sovrassegni per il quaternario. Dalla loro prima introduzione sul manuale cromatico del 2002 alla versione presente nel quaderno di aggiornamento sono poche invero le modifiche grafiche operate sia alle trame che ai vari elementi che le costituiscono. Diverse invece le variazioni alle specifiche di prescrizioni ed indicazioni per la loro applicazione a cominciare dalla nuova versione del Dizionario delle Unità Quaternarie indicato con la Tab. 1 di pag. 98 del Quaderno n. 12 fascicolo I. La riorganizzazione della tabella ha previsto anzitutto il raggruppamento dei vari elementi in ben definiti *range* legati ovviamente al fenomeno geologico da rappresentare. Anche in questo caso le nuove sigle attribuite e le nomenclature utilizzate sono imposte ai vari autori per evitare inutili proliferazioni di descrizioni di medesimi fenomeni geologici. La tabella 3000, in cui sono descritte le tessiture delle unità del quaternario, passa da facoltativa, vedi pagina 52 del Quaderno n. 6, ad obbligatoria, vedi pagina 102 del Quaderno n. 12, ovviamente quando sono presenti depositi quaternari. E' stata riconfermata per la stampa la rappresentazione di combinazioni di non oltre due elementi grafici con inserimento delle diverse combinazioni di trame nella nuova simbologia. Per quanto riguarda gli inserimenti di geologia marina sono stati evidenziati con l'apposizione, in sigla, di una lettera "m" seguita dalla combinazione in maiuscolo dei vari elementi componenti la distribuzione polimodale. Resta infine accessibile la possibilità, soprattutto in aree marine, di utilizzazione delle varie trame con una spaziatura ampliata così come era già previsto nel Manuale cromatico pubblicato nel 2002.

### **Allineamento dei cromatismi**

E' stata tentata, e solo in parte realizzata, una ricollocazione cromatica della simbologia, in funzione del processo geologico secondo i criteri storici della cartografia prodotta dal Servizio. Dal punto di vista cartografico è questo uno degli aspetti più significativi introdotti nel Quaderno n. 12 fascicolo I. È necessaria però una premessa storica prima di descrivere le modifiche introdotte.



Già nel Manuale cromatico del 1968 sono riservati una serie di colori primari ad alcuni elementi sia di rappresentazione della base topografica che della geologia. Per quest'ultima in particolare è presente il blu limiti geologici, il colore celeste sorgenti ed il rosso sigle. Su questi tre elementi di base è stata rappresentata gran parte della simbologia puntuale e lineare della cartografia geologica storica. Tre soli per evitare l'ampliamento di nuove matrici di stampa con passaggi ulteriori di macchina allora già in numero davvero consistente. In particolare il blu relativo ai limiti è stato utilizzato in generale per tutti gli elementi di ordine stratigrafico, mentre il rosso sigle è stato poi scelto per tutti gli elementi strutturali (descrizione degli strati; faglie ecc.) mentre il celeste sorgenti per tutti gli elementi idrogeologici da inserire in carta a completamento delle informazioni presenti sulla base idrografia. Ben pochi sono gli elementi lineari e puntuali presenti nelle carte geologiche che sono stati rappresentati con cromatismi diversi eccezione fatta per il bistro utilizzato per gli elementi lineari di alcune aree vulcaniche (vedi il foglio n. 183-184 "Isola d'Ischia-Napoli" alla scala 1:100.000 pubblicato nel 1967 o meglio la pellicola ad esso sovrapposta contenente proprio talune descrizioni delle aree vulcaniche). Era ovviamente ben chiaro che qualsiasi nuovo elemento di simbologia da inserire in carta veniva prima vagliato e una volta collocato nel macro-fenomeno geologico assumeva il cromatismo ad esso riservato. Con la pubblicazione del Quaderno n. 1 del 1992, in cui è presente una prima libreria dei simboli da riportare nelle carte geologiche, in qualche modo il processo di attribuzione del cromatismo, così come storicamente tramandato dai cartografi del settore cartografico del Servizio, ha subito una diversa procedura. Come riportato a pagina 18 e 19 del Quaderno n. 2 del 1996, una specifica determinazione del Comitato Geologico, che allora soprintendeva al progetto CARG, attribuisce il colore "nero" a tutti gli elementi della tettonica, nonostante la riserva dell'ufficio cartografico in relazione alla estrema difficoltà di controllo della carta, non automatico, per verificare la possibile sovrapposizione, con mancata lettura, degli elementi della base topografica (in particolare i toponimi). La segnalazione allora dei cartografi portò semplicemente alla trasformazione del colore nero in colore blu limiti peggiorando in qualche modo il raggruppamento cromatico dei simboli perché in uno stesso timbro venivano ricompresi elementi stratigrafici ed elementi tettonici. Il Quaderno n. 12 poteva essere l'occasione per ripristinare il corretto abbinamento del cromatismo un l'elemento rappresentante il determinato fenomeno geologico. Diciamo subito che questa strada è sembrata però impercorribile, troppi oramai i fogli geologici del progetto CARG già stampati al 2009, e qualsiasi determinazione diversa da quelle descritte sembrava certamente inappropriata in relazione allo stato di avanzamento del progetto. Con questo però si è perso un dato importante della cartografia geologica, quello di raggruppare simboli compresi in medesimi fenomeni geologici con stesso cromatismo di rappresentazione alla scala di pubblicazione. Si aggiunge altresì che in stampa la perdita di un colore pieno come il rosso sigle, che insieme al blu limiti rappresentavano le matrici fondamentali per la compilazione in stampa delle carte geologiche di un tempo, è una carenza non certamente trascurabile. Si rammenta qui che nelle vecchie carte era addirittura mescolato alla "biacca" (in parte coprente) per renderlo ancor più visibile in relazione alle sovrapposizioni con altri elementi della stessa considerata l'importanza ad esso riservata.

La mancata ricollocazione degli elementi tettonici in un proprio cromatismo, non può però far passare in secondo piano la ridefinizione cromatica di molti simboli legati a particolari fenomeni geologici. Tra tutti certamente il vulcanico, per il quale è stato attribuito uno specifico colore marrone (Pantone n. 470 - n. 120000 del Manuale Cromatico) per la rappresentazione degli elementi lineari compresi in queste aree. E' da precisare che la scelta di un solo colore è stata una decisione non semplice da assumere. Nel citato foglio "Isola d'Ischia-Napoli" al 100.000, gli elementi lineari vulcanici sono stati trattati, come detto, con due colori: il bistro ex orografia della base topografica e il celeste idrogeologia. Tra i due la scelta è caduta sulla ridefinizione di un colore marrone specifico, di maggiore intensità, pur nella convinzione, da parte dei cartografi, che il colore celeste è certamente molto più evidente se sovrapposto ad aree in colore rosso-arancio. È da precisare però che il detto colore avrà una propria matrice (colore Pantone n. 470 "barattolo" oppure 100% del Manuale Cromatico) risultando, rispetto alle aree rappresentate in quadricromia anche

con timbri piuttosto intensi, tutto sommato ben visibile così come riscontrato in una specifica sperimentazione effettuata (vedi in questo senso il citato foglio "Acireale" alla scala 1:50.000).

La ridefinizione dell'*item* colore della simbologia geologica, redatta peraltro tenendo conto delle indicazioni provenienti dal Quaderno n. 11, permette la completa descrizione in banca dati del reale cromatismo utilizzato nella stampa della carta. In questo senso la sua implementazione sarà finalizzata alla realizzazione di una specifica data base dei timbri cromatici utilizzati nei fogli pubblicati, oppure approvati in via definitiva ed in attesa di stampa, certamente indispensabile alla definizione dell'impianto colore del singolo foglio, in corso di rilevamento oppure in fase di allestimento alla stampa, per il quale, come è noto, è necessario anzitutto acquisire le informazioni dei timbri utilizzati nei fogli contigui oppure presenti nell'immediato intorno. Obiettivo ultimo della costruzione di questo data base sarà la possibilità di utilizzarlo nella consultazione via web della cartografia geologica ed in particolare nel portale cartografico del Servizio (all'indirizzo <http://sgi.isprambiente.it/geoportal/>) oggi estremamente limitato nella restituzione dei graficismi attribuibili alle varie aree da rappresentare.

### **Nota Conclusiva**

La pubblicazione del Quaderno n. 12 nelle Linee Guida del Progetto CARG da parte del Servizio Geologico d'Italia dell'ISPRA Istituto Superiore per la Ricerca e la Protezione Ambientale - Dipartimento Difesa del Suolo appare certamente una guida piuttosto approfondita, almeno per gli aspetti di simbologia e gestione numerica del dato, per quanti vogliono cimentarsi nella redazione di cartografia geologica non solo relativa al Progetto CARG per la realizzazione della nuova cartografia geologica nazionale, alla scala 1: 50.000. Esso, come già detto, rivisita approfondendone contenuti e aggiornandone dati, situazioni e decisioni non solo di ordine cartografico - editoriale, le linee guida relative al Quaderno n. 2 del 1996 (Guida alla rappresentazione cartografica) e n. 6 del 1997 (Banca dati geologica). Dopo quasi 15 anni e la pubblicazione di oltre 100 fogli geologici dell'Italia alla scala 1:50.000, l'allineamento e l'aggiornamento delle normative del Progetto CARG è apparso un atto doveroso sia per il prosieguo dei rilevamenti finanziati per ora per altri 150 fogli circa della nuova Carta Geologica d'Italia ma anche, per quanto esposto nel presente scritto in modo sintetico, per la necessità di coordinamento ed aggiornamento conseguente le esigenze scaturite nel corso di rilevamento e stampa dei fogli già pubblicati. Unitamente al Quaderno n. 11 relativo all'uso del Manuale Cromatico di riferimento per le carte geologiche pubblicato nel 2007, questa Linea Guida è certamente utile riferimento non solo per gli addetti ai lavori ma per quanti intendono realizzare o produrre cartografie geologiche sia con l'ausilio di software di grafica editoriale, ovviamente specializzati, sia per coloro che intendono cimentarsi con l'ausilio di GIS e relativa BD. Notevole infatti nel Q. 12 l'abbinamento tra elementi grafici necessari alla rappresentazione cartografica e banca dati geologica con i necessari attributi di descrizione, non solo scientifica, dei vari elementi presenti. In ultimo appare certamente significativa la rilettura delle vicende del trascorso di 15 anni dalle citate prime pubblicazioni, sia per le scelte operate dal Servizio Geologico d'Italia in sede di organizzazione del nuovo progetto di cartografia geologica nazionale alla scala 1:50.000, sia per gli interessanti elementi emersi nelle varie discussioni tra professionalità diverse nel trattare i nuovi elementi proposti a completamento ed integrazione di quelli pubblicati.

### **Riferimenti bibliografici**

- COSCI M., FALCETTI S., TACCHIA D. (1996) – *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000: Guida alla rappresentazione cartografica* - Quaderni serie III n. 2 – Servizio Geologico d'Italia
- ARTIOLI G.P. et alii (1997) – *Carta Geologica d'Italia – 1:50.000 Banca dati Geologici – Linee guida per l'informatizzazione e per l'allestimento per la stampa dalla banca dati* - Quaderni serie III n. 6 – Servizio Geologico d'Italia

## **Metodi innovativi per la documentazione e valorizzazione di siti archeologici**

G. Fangi, E.S. Malinverni, E.d'Annibale, A.N. Tasseti, C.A. Bozzi

DICEA, Università Politecnica delle Marche, Facoltà di Ingegneria  
Via Brece Bianche, 60131 Ancona  
{g.fangi, e.s.malinverni, e.dannibale, n.tasseti}@univpm.it, carloalbertobozzi@gmail.com

### **Riassunto**

Il gruppo di Geomatica del dipartimento DICEA (Università Politecnica delle Marche) da tempo si occupa di rilievo, documentazione e valorizzazione di siti archeologici con collaborazioni a livello internazionale.

La ricerca punta allo sviluppo di metodi innovativi di rilievo architettonico e alla loro integrazione in una soluzione organica che parte dall'acquisizione dei dati fino alla divulgazione, pubblicazione e musealizzazione del bene archeologico/architettonico. Le tecniche oggetto di ricerca vanno dal rilievo speditivo (tramite topografia, fotogrammetria terrestre e laser scanning), alla produzione di informazioni geografiche e modelli foto realistici fino alla divulgazione tramite tecniche di navigazione virtuale interattiva, multi-proiezione in ambienti immersivi e pubblicazione WEB GIS in ambiente open source. I dati e i contenuti prodotti e potenzialmente producibili vanno strutturati in un modello di dati condiviso definendo regole che permettano l'integrazione, la gestione, l'interrogazione e la condivisione delle informazioni in un ambiente GIS e/o museale. L'obiettivo è definire l'architettura di un sistema che consenta di fornire soluzioni e servizi innovativi e di forte impatto comunicativo ai responsabili dei siti archeologici e ai visitatori reali/virtuali degli stessi.

### **Abstract**

*The geomatic research group (DICEA, Università Politecnica delle Marche) is devoted to geo-referenced and geospatial data mapping and surveying, sensor and data integrations, man-made structures digital reconstruction, GIS and cartography applications, cultural heritage documentation and digital preservation. A consolidate know-how has been acquired in the experience and development of different methodologies based on terrestrial, aerial and satellite photogrammetry as well as on 3D modeling systems based on triangulation and time-of-flight range sensors (laser scanners). The research group is working on the optimization and development of methods and tools for virtual reconstruction and visualization of natural and man-made sites or objects, the fusion of 3D models acquired with different techniques (at different point densities and measurement accuracies) and the development of new data processing pipelines. The focus is to define the architecture of a system suitable for the management of survey acquisition data and the provision of innovative services to the visitors and the responsables for archeological sites: reality-based 3D surveying, modeling and visualization applied to architectures and cultural heritage.*

### **Introduzione**

I beni culturali costituiscono una risorsa strategica per lo sviluppo sociale ed economico.

Il mondo dei beni culturali sta vivendo una fase di promozione e valorizzazione del proprio patrimonio anche per l'accessibilità di diverse tecniche di documentazione e rilievo e l'innovativo utilizzo di strumenti di conoscenza, promozione e comunicazione di tipo multimediale.

Le problematiche della tutela, conservazione e valorizzazione di queste risorse coinvolgono un ampio spettro di discipline e di tecniche.

Dal guppo di geomatica nasce quindi l'idea di integrare e finalizzare le diverse professionalità sviluppate in anni di lavoro in un unico progetto di documentazione, tutela e valorizzazione dei beni storico-artistici.

Punto di forza è la integrazione sinergica di diversi ambiti di ricerca, essenziale per la definizione e l'implementazione di nuove metodologie di indagine e valorizzazione dei manufatti e del territorio: dall'analisi e conoscenza storica e architettonica del bene, alla progettazione e ottimizzazione del rilievo fino alla fase di divulgazione e valorizzazione attraverso i più attuali strumenti di documentazione multimediale.

Il progetto di ricerca proposto ben si allinea con le intenzioni e linee guida proposte dalle organizzazioni scientifiche/culturali internazionali operanti nel settore.

L'idea chiave è che un bene culturale è protetto solo se totalmente rilevato, documentato, continuamente monitorato con il massimo rispetto dell'Ambiente circostante e percepito dal destinatario (cittadino, turista o Ente). La valorizzazione del bene diventa completa quando la descrizione metrica è affidabile ed esaustiva e tutte le informazioni rilevate sono standardizzate e catalogate in sistemi informativi che ne garantiscono l'interazione e la fruibilità a diversi livelli.

Le esperienze fatte in diversi anni di ricerca ci permettono di progettare e proporre soluzioni di rilievo e comunicazione che ben si adattano alle caratteristiche ed esigenze dei beni culturali.

I beni culturali:

- scompaiono ad una velocità superiore a quella con cui si riescono a documentare.  
Eventi naturali, catastrofici e guerre mettono infatti continuamente a rischio i beni archeologici con modalità e conseguenze non prevedibili. Il rilievo del bene deve essere perciò speditivo, spesso d'emergenza e in casi estremi (beni non più accessibili o scomparsi) possibile anche da materiale già disponibile (foto turistiche, documentazione panoramica).
- sono spesso difficili da raggiungere per motivi morfologici e politici.  
Il rilievo acquisisce potenzialità se realizzabile con strumentazione leggera, in casi estremi con una semplice macchina fotografica.
- non sono spesso inseriti in contesti socio-economici tali da catalizzare l'interesse e garantirne efficienti strumenti di tutela.  
In questi contesti soprattutto si evidenzia la necessità di una documentazione completa, *low-cost* e di qualità tale da promuovere la conoscenza e la sensibilizzazione al bene stesso.
- devono poter essere inseriti in contesti di salvaguardia, di promozione e protocolli di monitoraggio/intervento per la tutela e la gestione.  
Qui nasce la necessità di definire standard di rilievo/ricostruzione al fine di produrre modelli confrontabili, accessibili e adattabili a diversi tipi di esigenze (turistiche, didattiche, conservazione, restauro).
- devono essere fruibili in modo partecipato e ponderato, raggiungere e sensibilizzare diversificate fasce di utenti senza limiti spazio-temporali.  
I canali mediatici stessi diventano oggetto di ricerca e vanno diversificati per proporre più soluzioni di divulgazione che vanno dall'interrogazione GIS/WebGIS all'istallazione multimediale di forte impatto comunicativo (virtuale ed immersiva).  
La comunicazione infatti, pur non essendo il rimedio per sciogliere le criticità legate alla salvaguardia dei beni archeologici, ha un ruolo importantissimo nella promozione del patrimonio artistico e culturale e determina il modo in cui il patrimonio stesso viene percepito, reso pienamente fruibile e sentito come bene da salvaguardare.

### **Temi di ricerca:**

Nel campo del rilievo l'esperienza sviluppata copre un'estesa casistica di contenuti che vanno dalla scala urbana, alle architetture più o meno complesse fino ai manufatti scultorei e di design.

Le diverse esperienze di rilievo consentono di valutare in maniera preventiva il migliore approccio (in termini di risoluzione e precisione) all'oggetto in relazione alle diverse applicazioni e finalità.

La ricerca fin qui sviluppata si articola in 2 fasi principali: Rilievo/Ricostruzione 3D digitale (fotografie panoramiche, fotogrammetria sferica, scansioni *laser*, tecniche di *Structure for Motion* e *Image-based modeling* per ricostruzioni virtuali fotorealistiche) e Rappresentazione (navigazione interattiva, sistemi di *tracking*, multiproiezione, sistemi di visione stereoscopica, pubblicazione GIS/WebGIS).

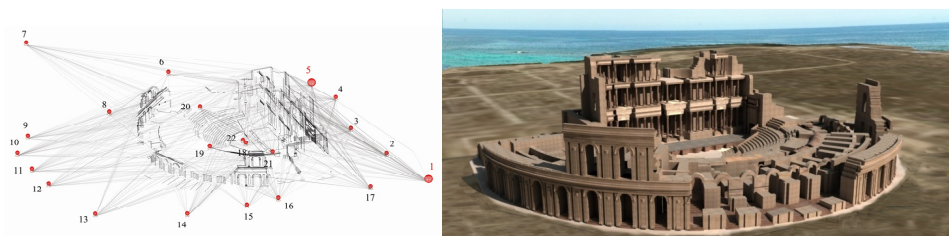


Figura 1 – Teatro di Sabratha: Rilievo (a), Rappresentazione (b) (restituzione Cecilia Pisa).

La prima fase di rilievo e ricostruzione mira ad ottimizzare una metodologia di lavoro che vede il contenuto architettonico/archeologico al centro di un processo di ricostruzione virtuale con caratteristiche di precisione, affidabilità, speditezza, accessibilità e integrabilità.

La seconda si propone invece di sviluppare linguaggi innovativi attraverso l'utilizzo di strumenti evoluti che garantiscono un forte impatto comunicativo.

In particolare, accanto alle ormai conosciute ed accessibili tecniche di rilievo, una soluzione speditiva, unica ed innovativa è quella della fotogrammetria sferica ideata e sviluppata dal Prof. G.Fangi che consente di integrare le esigenze metriche con quelle di una documentazione fotografica esaustiva.

La fotografia è essenzialmente di tipo panoramico. La strumentazione fotografica necessaria (camera, cavalletto e testa panoramica) permette agli operatori un buon grado di mobilità ed indipendenza e grazie alla consolidata esperienza si riesce in tempi brevi ad ottenere un numero elevato di panoramiche per aree piuttosto estese e in luoghi difficilmente accessibili con strumentazioni ingombranti.

Il vantaggio più evidente di questa metodologia è che, con la medesima speditezza delle operazioni, si esegue una campagna di acquisizione di informazioni fotografiche e fotogrammetriche che garantisce completezza del dato e precisione in fase di restituzione.

L'utilizzo integrato di tecniche fotogrammetriche e di *computer vision* e l'attenzione al livello di dettaglio in base alla scale di rappresentazione danno agli elaborati digitali elevato valore scientifico e ne consentono la visualizzazione su diverse piattaforme.

La possibilità di disporre di tecnologie sviluppate in dipartimento e la possibilità di utilizzare strumentazioni *low cost* abbatte inoltre l'onere per il finanziamento di una missione.

La possibilità di approcciarsi ad una documentazione multimediale attraverso collaudati strumenti di rilievo ed affinate tecnologie di elaborazione grafica ci permette di raggiungere alti livelli di precisione e fotorealismo nella ricostruzione tridimensionale.

I modelli realizzati con queste tecniche digitali di rilievo possono poi essere utilizzati per diversi scopi: documentazione, monitoraggio, conservazione digitale, repliche fisiche, realizzazione di animazioni per i musei (installazioni multimediali interattive e immersive) oppure per la pianificazione al computer di operazioni di restauro.

Di seguito vengono riportate alcune esperienze di ricerca e cooperazione come esempi di metodologie collaudate e integrabili in un processo generale di documentazione/comunicazione del patrimonio culturale.

## ESPERIENZE E COLLABORAZIONI

### Documentazione, Rilievo e Ricostruzione virtuale

Il tipo di documentazione esaustiva e il trattamento appropriato del materiale digitale permette l'elaborazione e l'integrazione dello stesso nei più evoluti sistemi di rilievo, rappresentazione e comunicazione legata all'architettura e all'archeologia. Grazie a metodologie di lavoro ormai collaudate si è in grado di produrre elaborati digitali in linea con i più moderni standard di qualità dell'immagine panoramica, di precisione del rilievo e di fotorealismo del modello.

#### • L'Aquila, Italia

A seguito del terremoto che ha colpito la città dell'Aquila nell'Aprile del 2009, abitazioni ed edifici di rilevanza architettonica hanno subito danni più o meno gravi evidenziando l'esigenza di una documentazione rapida e precisa a supporto del necessario processo di ricostruzione.

Oggetto di questa esperienza è la chiesa di S.Maria del Suffragio o popolarmente detta delle Anime Sante, edificata nel XVIII sec in Piazza del Duomo. Consapevoli della precisione necessaria, si è proceduto con il confronto e l'integrazione di diverse tecniche di rilievo: stazione totale, laser scanner, fotogrammetria sferica. Inoltre si sono sperimentati nuovi sistemi di restituzione automatizzata con foto ad alta risoluzione.

La metodologia proposta mira ad interventi sul territorio con strumentazione leggera, velocità di acquisizione e completezza del dato.

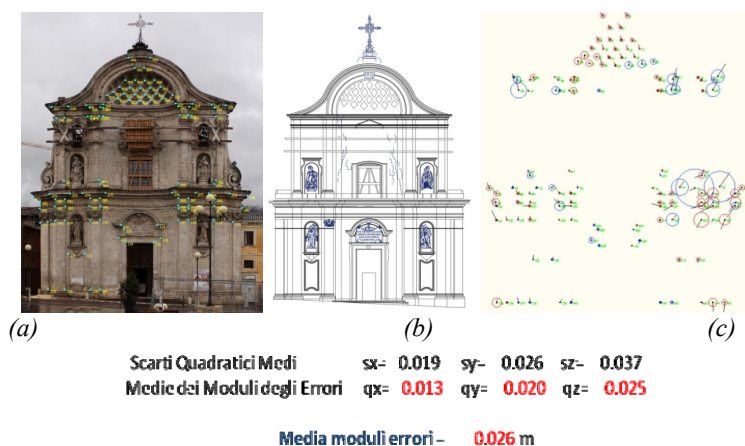


Figura 2 – Rilievo tramite stazione totale dei punti scelti per il confronto di precisione (a), Restituzione tramite fotogrammetria sferica (b), Ellissi di errore (c).

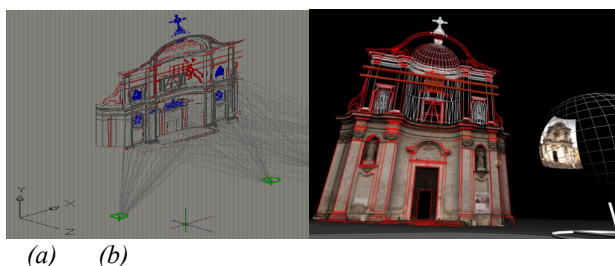


Figura 3 – Restituzione di primitive tramite fotogrammetria sferica (a), Creazione del modello con texture muraria ad alta risoluzione (b).





Figura 4 – Formazione di immagini ad alta risoluzione per restituzione automatizzata di punti (a), Nuvole di punti tramite procedure di Structure for Motion (b).

### • Siti archeologici di Sabratha, Leptis Magna, Cyrene e Gadames Libia



Il progetto nasce da una collaborazione finalizzata all'allestimento del Museo della Libia, Tripoli. Il gruppo di lavoro ha seguito una metodologia sperimentale di documentazione per la musealizzazione delle architetture e dei beni archeologici. In particolare sono state ricostruite statue di rilevanza mondiale e architetture tipiche del luogo (aghi del deserto).

La missione è durata 2 settimane ed ha coinvolto un team di diverse professionalità (archeologi, videomakers, fotografi e topografi). La mobilità permessa dalla metodologia di rilievo scelta ha consentito di coprire ampie aree di indagine con tempi ristretti e garantendo un'acquisizione di alta qualità sia dal punto di vista fotografico che metrico.

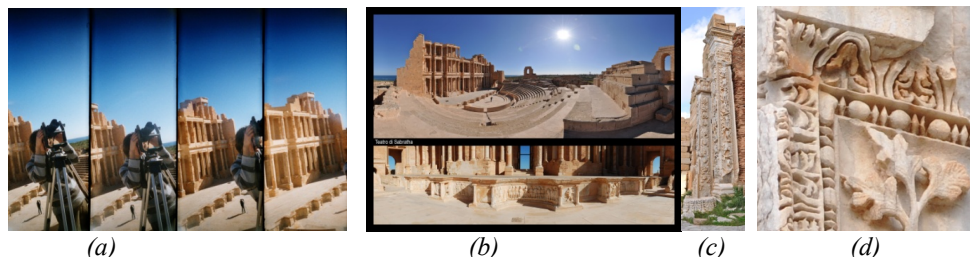


Figura 5 – Acquisizione panorami (a)Panoramiche del Teatro di Sabratha (b), Fotografia ad alta risoluzione di colonna con bassorilievi della basilica di Leptis Magna (c) e relativo dettaglio (d).

Le architetture sono state rilevate con metodi di fotogrammetria sferica e ricostruite nei singoli elementi tramite tecniche di *Image-based modelling*, garantendo precisione e fotorealismo.

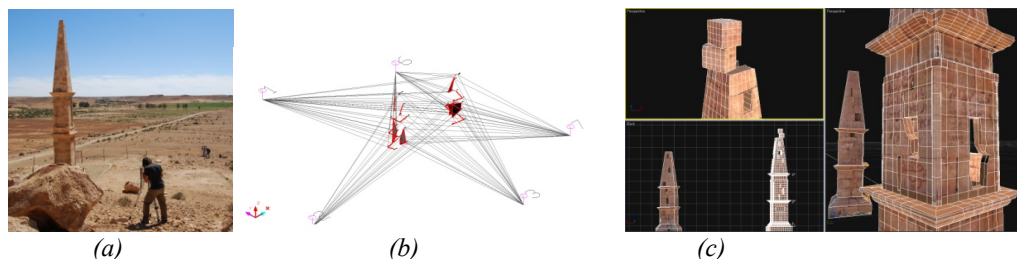


Figura 6 – Campagna di rilievo fotogrammetrico (a), Restituzione fotogrammetrica delle architetture (b), Modello 3D fotorealistico (c).

Per le statue invece sono stati riprodotti fedeli modelli tramite acquisizione laser e conseguente creazione delle superfici e testurizzazione. I modelli 3D delle statue e degli aghi sono stati utilizzati per produrre elaborati video da proiettare su pannelli olografici.

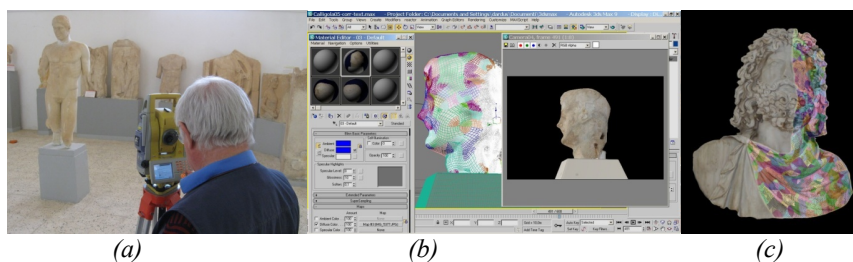


Figura 7 – Campagna di rilievo laser scanner (a,) Nuvola di punti (b), Modello 3D (c).

Relativamente ai siti archeologici *tools* appositi sono stati creati per consentirne la navigazione interattiva su supporti multimediali. E' stato così possibile creare una rete di percorsi esplorativi virtuali che permettono al turista di raggiungere con facilità i più caratteristici e affascinanti punti di osservazione. Alla luce degli ultimi eventi storici il lavoro fatto diventa una documentazione metrica e fotografica preziosa per future analisi o ricostruzioni storiche.

#### • Petra, Giordania



Petra è un sito archeologico dichiarato nel 2007 una delle 7 meraviglie del mondo moderno. Tutelato dall'UNESCO dal 1985 è famoso per le numerose facciate intagliate nella roccia, uniche per materiale e colore. Per lungo tempo abbandonate ed esposte ad agenti atmosferici, i reperti archeologici si sono deteriorati molto velocemente e sono necessari programmi di monitoraggio continui. Le architetture presentano un grado di degrado più o meno grave con geometrie più o meno definite. Diventa per questo necessario affiancare ai classici metodi fotogrammetrici (basati sul riconoscimento manuale di punti omologhi) tecniche di restituzione automatizzata (SfM).

Oltre al dato geometrico si è posta particolare attenzione al livello di dettaglio delle *textures* per rendere la lettura del materiale il più possibile coerente e dettagliata. Della valle di Petra sono stati ricostruiti 3 dei più importanti monumenti utilizzando tecniche di fotogrammetria sferica unite a quelle di Structure for Motion (SfM).

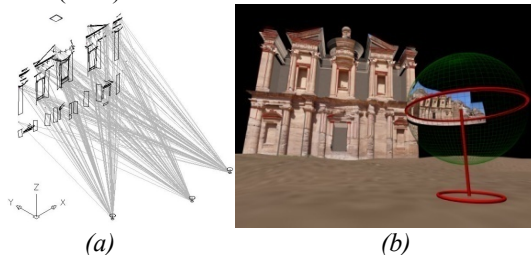


Figura 8 – Ad Deir, Il Monastero: Restituzione fotogrammetrica (a), Image Based Modeling (b).

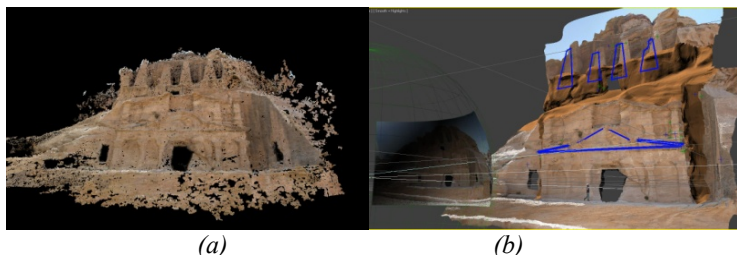


Figura 8 – Tomba dell'Obelisco e Triclinio di Bab As Siq:  
Restituzione con SfM (a) e Image Based Rendering (b) (restituzione Sabino Massa).

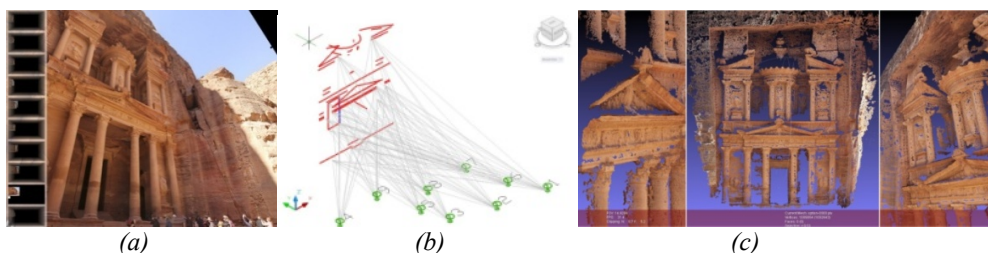


Figura 9 – El Khasneh, noto come “Il Tesoro” (I secolo a.C.): VR tool (a), Orientamento Panorami(b), Nuvola di punti ottenuta con SfM (c).

### • Cittadella di Aleppo, Siria



La cittadella di Aleppo, uno dei più notevoli esempi di architettura militare in Medio Oriente, è Patrimonio Mondiale dell'Umanità dell'UNESCO dal 1986.

La realizzazione di 35 panoramiche, scattate in occasione di una visita turistica, ha permesso una visione globale di tutto il complesso militare della Cittadella di Aleppo. Tramite le tecniche di fotogrammetria sferica è stato possibile costruire il modello 3D dell'intera cinta muraria, studiarne le dimensioni e georeferenziarlo in Google Earth.

L'esperienza di ricerca dimostra come la fotogrammetria sferica sia uno strumento adatto anche al rilievo di beni archeologici di dimensioni notevoli (una “città” e forme complesse. La cittadella si trova infatti su una collina naturale e ha una pianta ellittica di 350-550 m di diametro; l'ellisse superiore invece ha dimensioni di 160m e 280m.

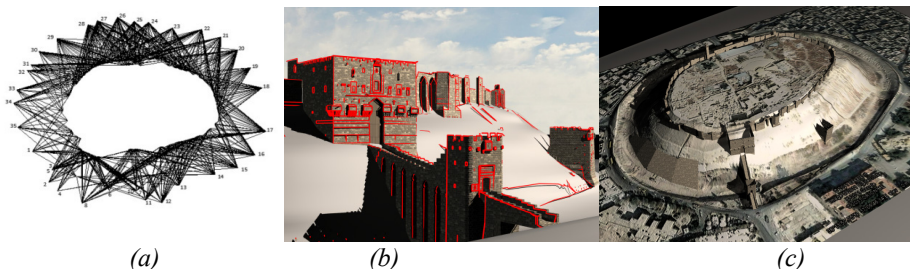


Figura 10 – Rete delle panoramiche (a), Restituzione e modellazione (b), Georeferenziazione (c) (restituzione Livia Piermattei).

### • Sito archeologico di Angkor Wat, Cambogia



Il sito archeologico, incluso dal 1992 fra i Patrimoni dell'Umanità dall'UNESCO ed esempio di architettura Chmer, è stato a lungo tempo incustodito e soggetto all'azione devastante della foresta. Gran parte dei monumenti sono stati restaurati con le tecniche dell'anastilosi che evidenziano l'esigenza di una ricostruzione fedele del manufatto fino alla possibilità di numerare e classificare i singoli elementi.

In questa esperienza si sviluppa una metodologia a supporto del restauro del monumento tramite l'integrazione della fotogrammetria sferica con tecniche di restituzione automatizzata, più pratiche per la modellazione di superfici complesse come bassorilievi.



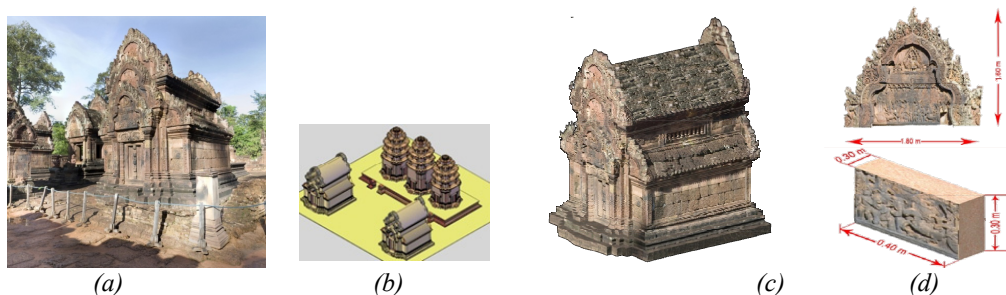


Figura 11 – Biblioteca del Tempio di Banteay Srei(a), Ricostruzione dell'intero Tempio di Banteay Srei (b), Modello 3D fotorealistico (c) Applicazioni per l'anastilosi: scomposizione, dimensionamento e numerazione degli elementi (d) (rilievo e restituzione Giorgia Clerico).

### • Complesso archeologico di Chan Chan, Trujillo, Perù



Il complesso archeologico del Chan Chan appartiene alla lista UNESCO del Patrimonio Mondiale e rappresenta il più vasto insediamento dell'America Latina costruito in adobe ( si estende su una superficie di 14 km<sup>2</sup>). In collaborazione con l'Istituto per le Tecnologie applicate ai Beni Culturali del CNR, la missione porta avanti un'opera di documentazione e valorizzazione turistica del complesso archeologico e dell'intera regione attraverso la progettazione e realizzazione di un Parco Archeologico e di tutte le infrastrutture ad esso collegate.

L'esperienza svolta ha permesso di collaudare diverse tecniche di rilievo: telerilevamento da immagini satellitari, fotogrammetria aerea (con prese nadirali e camera fotogrammetrica e prese oblique a bassa quota), rilievi topografici diretti con gps, stazione totale e laser scanner. Il tutto è stato organizzato in un GIS che ha permesso, in accordo con le autorità Peruviane, la redazione di un piano di salvaguardia dell'intero sito archeologico che rischia la scomparsa a causa della forte aggressione urbana.

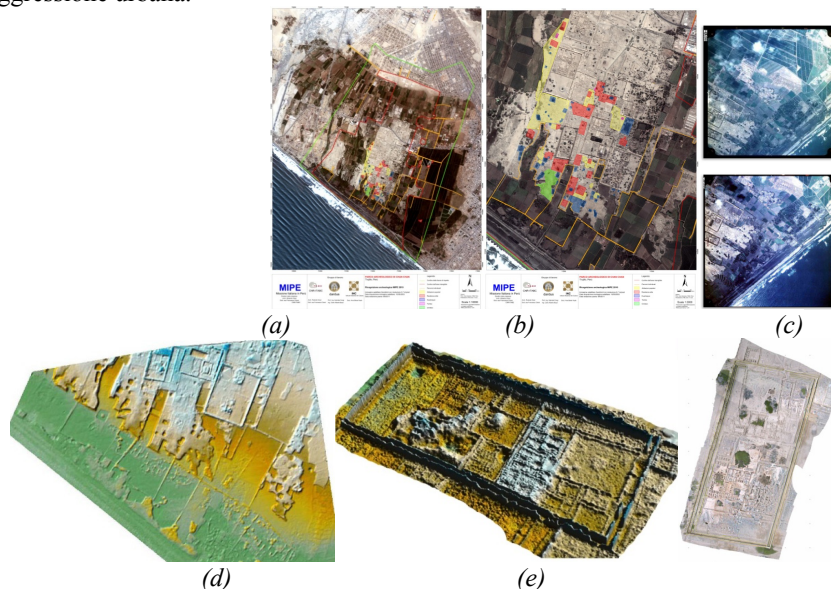


Figura 12 – Sito archeologico di Chan Chan: Aree di salvaguardia (a), Zonizzazione parziale (b), Prese aerofotogrammetriche eseguite dalla NASA nel 1970 (c), DSM fotogrammetrico della parte sud del sito (d), DSM (e) e Ortofoto (e) di Palazzo Rivero.

• **Castelli di Elmina e Cape Coast, Ghana** 

I castelli, eretti dai mercanti europei e tristemente noti per essere stati avamposti della tratta degli schiavi, sono testimonianze molto significative a livello storico e di progettazione architettonica. In particolare il Castello di Elmina, costruito nel 1482, è il primo punto di approdo dei portoghesi per l'esplorazione della Costa d'Oro e la più vecchia testimonianza in Africa della presenza europea. Insieme alle altre fortificazioni di simile origine è tutelata dall'UNESCO dal 1979.

In collaborazione con l'Università Irvine in California (prof. Magda El Zarchi) e l'Università di Mines and Tecnology del Ghana è stata eseguita una campagna di acquisizione fotografica di tipo panoramico finalizzata alla ricostruzione 3D con *texture* foto-realistica e alla navigazione virtuale dei castelli stessi. Anche in questa esperienza l'estrema flessibilità del metodo utilizzato e la strumentazione leggera (camera, testa panoramica e treppiede) ha consentito in pochi giorni e con soli 2 operatori un'acquisizione esaustiva e dettagliata delle estese strutture: 200 panorami sferici ad alta risoluzione.

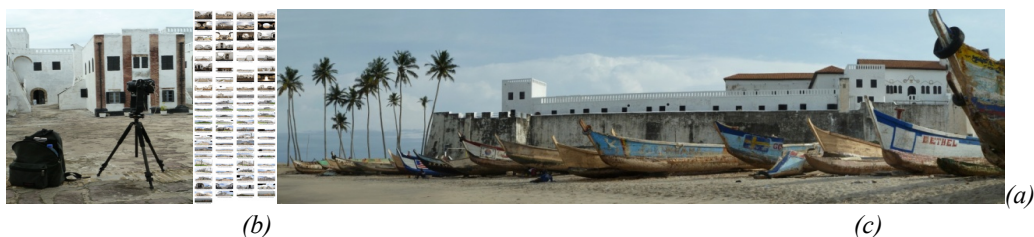


Figura 13 – Strumentazione di acquisizione (a), Anteprime delle panoramiche (b), fotografia panoramica del Castello di Elmina (c).

**Valorizzazione e Comunicazione**

L'interattività fornisce promettenti piattaforme attraverso cui far transitare attività di apprendimento, esperienza e comunicazione del bene culturale.

La collaborazione in vari progetti museali legati all'architettura e varie ricerche in corso mirano alla progettazione di apparati complessi di visualizzazione del modello su diversi tipi di supporti: dal semplice video/monitor fino a grandi spazi di proiezione e stanze immersive. Le soluzioni oggetto di studio sono composte da moduli software e servizi confezionati su misura per realtà culturali diverse e per le varie tipologie di beni conservati siano essi collezioni esistenti o "nascoste" (archivi, documenti e opere non accessibili perché dispersi o situati in altre sedi di difficile leggibilità).

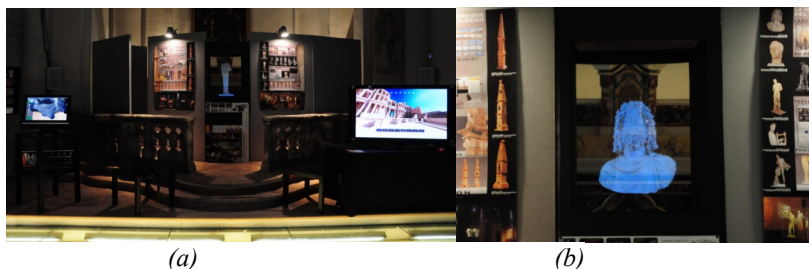


Figura 14 – Vitruvio e il De Architettura nella Cultura Classica, Fano, 2010: Allestimento multimediale con punti per la navigazione interattiva dei siti (a), proiezione olografica (b).

L'integrazione dei contenuti multimediali all'interno di un unico ambiente di rappresentazione consente il controllo completo dei parametri che regolano la qualità dell'elaborato e il coinvolgimento dell'utente o di più utenti.

- **Museo della Libia, Palazzo del Popolo, Tripoli**

Il Museo della Libia, purtroppo coinvolto negli ultimi eventi storici, è un progetto dello Studio di Architettura Crachi di Roma. L'installazione delle tecnologie di interazione e proiezione è invece a cura di TouchWindow ®- Pixart s.r.l.

A seguito di una convenzione universitaria con la società Touch Window ® – Pixart S.r.l., il gruppo di lavoro si è occupato della realizzazione degli elaborati digitali dedicati alla navigazione interattiva ed alla rappresentazione olografica e in particolare:

- realizzazione di un *tool* tecnologico da utilizzare come framework di sviluppo
- realizzazione di panoramiche VR
- produzione di modelli visuali per proiezioni olografiche dei manufatti architettonici denominati “aghi del deserto”
- produzione di modelli visuali per proiezioni olografiche di statue

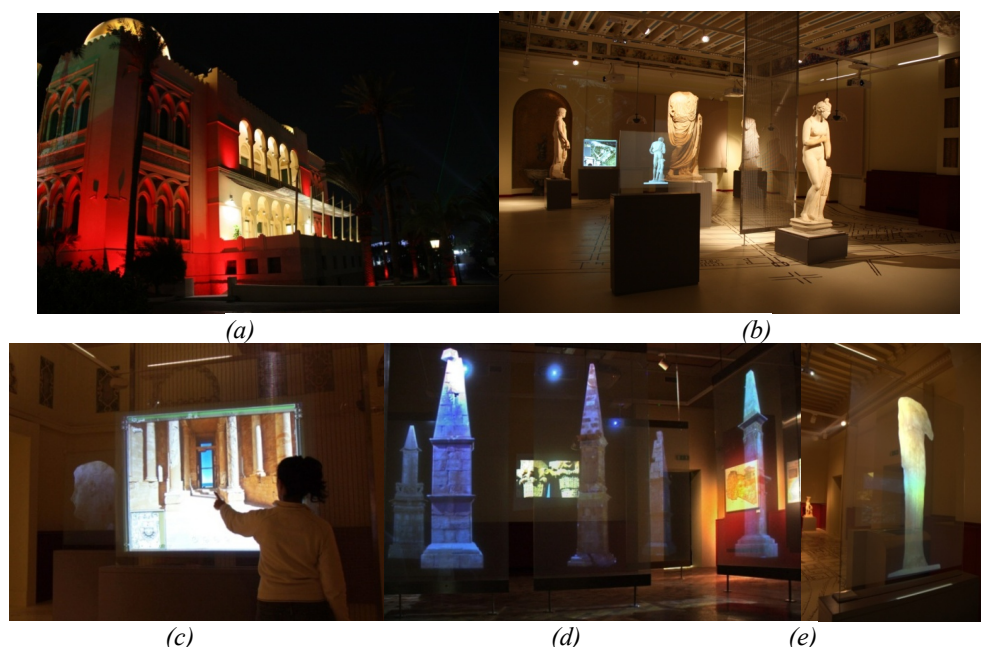


Figura 15 – Ex Palazzo del Popolo (a), Allestimento museale (b), Soluzione Touch Window per la navigazione interattiva (c), Stanza degli aghi con rappresentazioni fotorealistiche su grandi pannelli olografici (d), Rappresentazione olografica di elementi scultorei (e).

- **Navigazione delle fotografie panoramiche e dei modelli 3D**

L'idea è di proporre nuove forme di comunicazione legate ai beni culturali per visualizzare fotografie panoramiche e ricostruzioni 3D fotorealistiche senza perdite di qualità geometriche e texturali, mantenendo inalterate le caratteristiche di estrema fluidità e controllo.

La ricerca si pone l'obiettivo di sviluppare strumenti innovativi ben adattabili a diverse esigenze: dalla didattica ai musei, dalla documentazione fotografica a quella fotogrammetrica.

Punto chiave della soluzione VR proposta è l'ambiente di programmazione visuale VVVV che rende possibile la gestione e l'interazione in tempo reale con una grande quantità di contenuti multimediali testuali, audio e video. In aggiunta lo stesso ambiente di programmazione permette una forte personalizzazione delle interazioni con l'utente e delle configurazioni di output video. Diverse interazioni con l'utente sono state testate: *mouse*, *tavoletta grafica*, *joystick*, *touchscreen* e



sistemi di *video/laser object detection*. Inoltre è possibile la navigazione sia di fotografie panoramiche che di modelli virtuali anche in modalità stereoscopica.

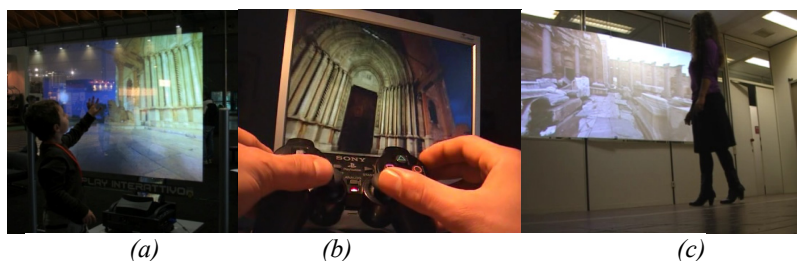


Figura 16 – Installazione su touchscreen olografico - SIB Rimini 2008 (a), Configurazione di periferiche user friendly (b), Sistemi di Tracking (Object Detection) e multiproiezioni su grandi superfici (c).

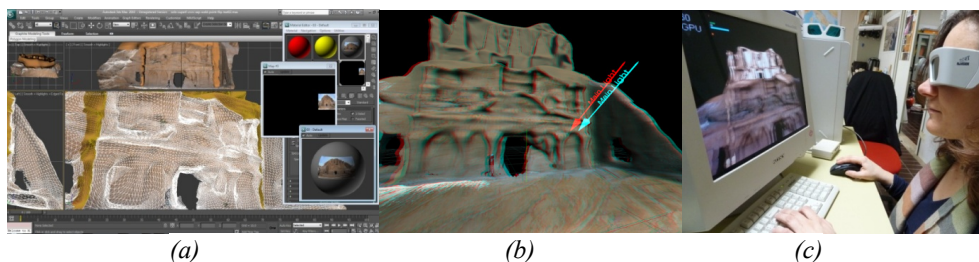


Figura 17 – Modello low poly con texture fotorealistica in un software di modellazione 3D (a), Navigazione interattiva stereoscopica con occhiali 3D anaglifi (b) e occhiali LCD attivi (c).

- **BOX immersivo**

Una configurazione evoluta del VR sperimentata all'interno del laboratorio universitario è il box per la navigazione immersiva che coinvolge l'utente, in un'esperienza virtuale plurisensoriale.

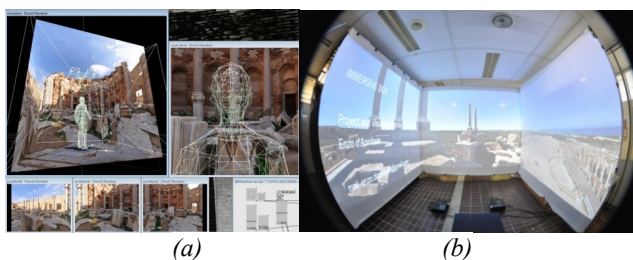


Figura 18 – Simulazione di una stanza con proiezioni immersive (a), Installazione del box (b).

- **TAMO, Chiesa di S. Nicolò, Ravenna**

In occasione dell'allestimento museale TAMO (Tutta l'Avventura del Mosaico) si è sviluppato un sistema per multiproiezioni su superfici di geometria complessa. All'interno di una vasta gamma di tecnologie multimediali per la "comunicazione" e valorizzazione dell'arte del mosaico, il lavoro è consistito nella ricostruzione virtuale del modello per permettere una serie di simulazioni utili sia in fase di progettazione che di allestimento degli apparati di proiezione. Attraverso *tool* appositi sono stati inoltre prodotti video ad altissima risoluzione e strumenti di calibrazione delle proiezioni.

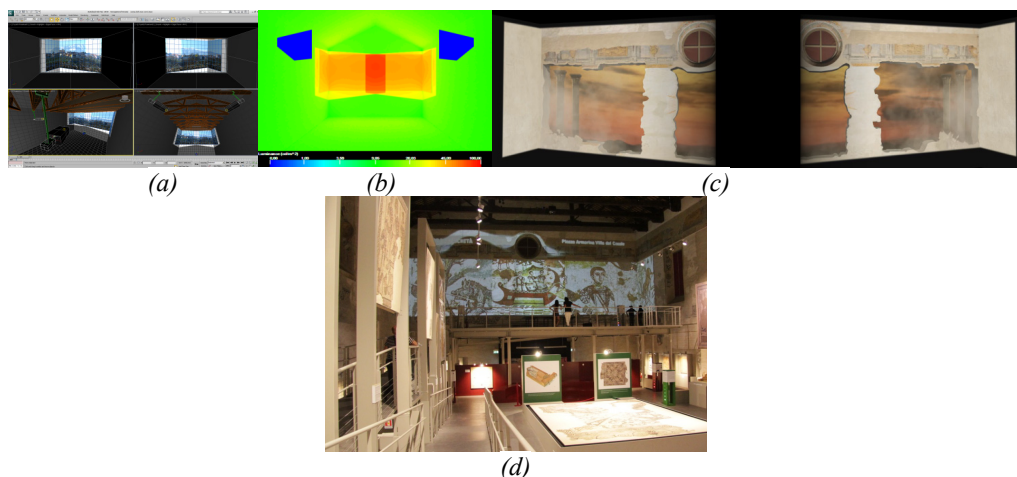


Figura 19 – Modello e simulazioni di progetto (a), Simulazione fotometrica (b), Elaborato video ad alta risoluzione con correzione della deformazione e softedge (c), Allestimento museale (d).

## Conclusioni

L'innovazione tecnologica, se posta al servizio della ricerca scientifica, può fornire strumenti utili per l'approfondimento e la divulgazione della conoscenza dei beni storico-artistici.

Punto di forza del gruppo di ricerca è la possibilità di integrare tali strumenti in progetti di valorizzazione organici attraverso la messa in campo di competenze multidisciplinari che vanno dal progetto della missione alla comunicazione multimediale del bene.

## Ringraziamenti:

Si ringraziano il prof. P. Clini, responsabile della convenzione universitaria per la realizzazione del museo della Libia; C.Pisa, S. Massa, G.Clerico e L. Piermattei per il lavoro messo a disposizione.

## Bibliografia

- E.d' Annibale, G.Fangi (2009) – *Interactive modelling by projection of oriented spherical panorama* – 3D-Arc'2009, 3D Virtual Reconstruction and Visualisation of complex Architectures – Trento 25-29 February 2009- ISPRS Archives - Vol XXXVIII-5/W1 : 1682-1777 on cd.
- E.d' Annibale, S.Massa, G.Fangi (2010) - *Photomodeling and point clouds from spherical panorama* - Nabatean Architecture in Petra, Jordan - C.I.P.A. Workshop, Petra 4-8 November 2010.
- G.Fangi (2007) – *The Multi-image spherical Panoramas as a tool for Architectural Survey* - XXI International CIPA Symposium, 1-6 October 2007, Atene, ISPRS International Archive – vol. XXXVI-5/C53 – ISSN 1682-1750 – CIPA Archives vol. XXI – 2007, ISSN 0256-1840 - pg.311-316.
- G.Fangi (2009) – *Further Developments of the Spherical Photogrammetry for Cultural Heritage* – XXII Cipa Symposium, Kyoto, 11-15 Ottobre 2009.
- Noah Snavely, Steven M. Seitz, Richard Szeliski, (2007). *Modeling the World from Internet Photo Collections*. International Journal of Computer Vision.
- L.Barazzetti, G.Fangi, F.Remondino, M.Scaioni, (2010) *Automation in Multi-Image Spherical Photogrammetry for 3D Architectural Reconstructions* - The 11th International Symposium on Virtual Reality, Archaeology and Cultural Heritage VAST
- E.d' Annibale (2010) – *New VR system for navigation and documentation of Cultural Heritage* – C.I.P.A. Workshop, Petra 4-8 November 2010.
- P. Crachi (2011), *Il nuovo Museo della Libia nel Palazzo del Popolo di Tripoli*, Gangemi Editore, Roma, 2011, ISBN: 8849220340
- G.Fangi, E.S.Malinverni, A.Schiavoni (2005), *Integrated Surveying techniques for the archaeological park of Chan Chan in Perú*, CIPA 2005 XX International Symposium, 2005, Torino, Italy
- <http://www.touchwindow.it/it/index.html>

## Le texture polinomiali per l'analisi di reperti di interesse archeologico

Emanuela Faresin, Giuseppe Salemi

Università degli Studi di Padova, Dipartimento di Architettura, Urbanistica e Rilevamento (DAUR)  
Via Venezia 1, 35131 Padova, Italy, Tel. 0498276741 e-mail: giuseppe.salemi@unipd.it

### Riassunto

In questo lavoro si presenta l'applicazione delle *texture* polinomiali nel campo dei Beni Culturali, in particolare per lo studio di lacerti musivi, provenienti dal Sacello di San Prosdocimo della Basilica di Santa Giustina.

Questo tempio è tra le opere architettoniche più importanti della città di Padova, fondato intorno al V secolo in onore della martire Giustina. I mosaici, che originariamente decoravano il sacello, oggi totalmente scomposti in lacerti, sono testimonianza dell'esistenza, in epoca paleocristiana, di un doppio edificio eretto in memoria della santa.

Nella fase preliminare di studio, sono state utilizzate tecniche di *image processing*: l'*edge detection*, per il riconoscimento delle caratteristiche geometriche del lacerto; la *feature extraction* sulle singole tessere musive con il filtro di Sobel, per calcolare il gradiente di luminosità dell'immagine in ciascun punto; la fotografia panoramica in tre differenti ambienti software (Autostich, Hugin e PTGui) per la realizzazione di foto panoramiche ad altissima risoluzione.

Successivamente, al reperto sono state applicate le *Polynomial Texture Mapping* che permettono di gestire immagini statiche multiple con differenti condizioni di illuminazione, al fine di ottenere un *rendering* foto realistico di alta qualità ed estremamente interattivo per una migliore analisi autoptica.

### Abstract

In this paper we present different image processing techniques in the field of Cultural Heritage, in particular for the study of mosaic fragments from the Shrine of St. Prosdocimo in the Basilica of Santa Giustina, Padua. This temple is one of the most important architectural works of the city, founded around the fifth century in honor of Justin Martyr. The mosaics originally decorated the chapel, but now are totally broken into fragments.

In the preliminary study, image processing techniques are used: the edge detection, for the recognition of geometric characteristics of the object; the feature extraction of the individual mosaic tiles with the Sobel filter that calculates the gradient of brightness at each point; the panoramic photo with three different softwares (Autostich, Hugin e PTGui) to create high resolution panoramic pictures.

Then Polynomial Texture Mapping, that allow to manage multiple static images with different lighting condition, are applied in order to get a photo realistic rendering of high quality and highly interactive for a better analysis.

### Inquadramento storico

Il tempio di Santa Giustina (figura 1), che secondo alcuni studiosi sorgerebbe sulle rovine di un tempio pagano, è tra le più importanti opere architettoniche di Padova ed è il più antico luogo di culto della città. La chiesa, situata in posizione laterale ed asimmetrica rispetto a Prato della Valle, venne fondata intorno al V secolo su un luogo cimiteriale in memoria della martire Giustina, giovane cittadina patrizia martirizzata nel 304 durante le persecuzioni di Massimiliano.



Figura 1 – Basilica di Santa Giustina a Padova vista da Prato della Valle (a sinistra) e particolare del sacello di San Prosdocimo (a destra).

Questa basilica è la testimonianza più antica riguardante il culto tributato a santa Giustina e risale al VI secolo, quando il “*vir clarissimus*” Opilione fece costruire “*basilicam vel oratoium in honore sanctae Iustinae martiris*”, come attesta l’iscrizione incisa nel timpano in marmo greco, oggi conservata nel nartece dell’oratorio di San Prosdocimo. Questo reperto, databile intorno al terzo decennio del VI sec. d.C., assieme ai lacerti del mosaico visibili al livello della pavimentazione del sacello, rappresenta la testimonianza dell’esistenza, in epoca paleocristiana, di un doppio edificio eretto in onore e memoria di santa Giustina [Pepi, 1966].

Non esistono testimonianze dirette sull’aspetto né della prima basilica, che affiancava il sacello, né sulla facciata. Nel figurarla si possono soltanto utilizzare le conoscenze dei monumenti cristiani coevi e pensare a probabili analogie: di semplici mattoni, forse riservava l’abbellimento più ricco, realizzato in mosaici, all’interno [Ludeschi 2009].

Il terremoto del 1117 distrusse l’antica basilica lasciando intatto il sacello paleocristiano e la comunità benedettina provvide alla costruzione di una nuova basilica utilizzando pietre e materiale costruttivo dell’antico teatro romano.

La chiesa fu demolita nel 1502 per dar posto all’attuale basilica, realizzata tra il 1532 e il 1579 da Andrea Maroni e Andrea da Valle.

L’interno, uno dei massimi capolavori dell’architettura rinascimentale, è a croce latina e si presenta diviso da grandi pilastri in tre navate. Per dimensioni (122 metri di lunghezza) Santa Giustina è la nona tra le chiese del mondo segnate sul pavimento della Basilica di S. Pietro a Roma.

Il Sacello di San Prosdocimo si presenta ora, in seguito a numerosi restauri, nella sua revisione cinquecentesca. I mosaici che ne decoravano anticamente la cupola, con i colori rosso a levante e a ponente e celeste a mezzogiorno, scelti per ottenere effetti di luci riflesse, sono oggi totalmente scomposte in lacerti musivi e tessere sciolte.

### Tecniche di image processing

L'*image processing* è definita come qualsiasi forma di elaborazione del segnale che ha come input un'immagine e come output la sua elaborazione, che può essere anch'essa un'immagine, oppure un'insieme di caratteristiche o parametri ad essa relativi.

Le finalità, nelle applicazioni ai Beni Culturali, sono essenzialmente due:

- Enfattizzazione del contenuto informativo di un'immagine attraverso la trasformazione del contenuto stesso, per raggiungere un nuovo valore gnoseologico non immediatamente percettibile ad "occhio nudo";
- Attribuzione di un valore documentativo all'immagine, tramite la sua rappresentazione sintetica o simulata, in modo realistico.

### Edge Detection

L'*edge detection* permette il riconoscimento delle caratteristiche di un oggetto, generando immagini contenenti un numero di informazioni minori rispetto alle originali, ma conservando quelle essenziali per descrivere le caratteristiche strutturali e geometriche dell'oggetto.

In questo caso, è stata effettuata utilizzando il filtro di Sobel che calcola il gradiente della luminosità dell'immagine in ciascun punto, trovando la direzione lungo la quale si ha il massimo incremento possibile dal chiaro al scuro e la "velocità" con cui avviene il cambiamento lungo questa direzione.

Il risultato ottenuto fornisce una misura di quanto rapidamente o gradualmente l'immagine cambia in ogni punto e, quindi, della probabilità che quella parte d'immagine rappresenti un contorno, fornendone anche, un'indicazione del probabile orientamento.

L'operatore applica due matrici di convoluzione  $3 \times 3$  all'immagine originaria per calcolare valori approssimati delle derivate, una in direzione orizzontale ed una in direzione verticale [Koschan, 1995]. Se si definisce  $A$  l'immagine sorgente, e  $G_x$  e  $G_y$  le due immagini i cui punti rappresentano rispettivamente i valori approssimati delle derivate in orizzontale ed in verticale, l'operazione è descritta da:

$$G_x = \begin{bmatrix} +1 & 0 & -1 \\ +2 & 0 & -2 \\ +1 & 0 & -1 \end{bmatrix} * A \quad G_y = \begin{bmatrix} +1 & +2 & +1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} * A \quad [1, 2]$$

dove  $*$  indica l'operazione di convoluzione bi-dimensionale.

In ogni punto dell'immagine i valori del gradiente possono essere gestiti per calcolarne il valore totale  $G$  :

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad [3]$$

Dalle matrici di convoluzione si calcola la direzione del gradiente:

$$\theta = \arctan\left(\frac{G_y}{G_x}\right) \quad [4]$$

Sono state scelte immagini con illuminazione diversa (figura 2), "mosaicate" in un unico file realizzato con il comando *Overlay* in Photoshop.

Con i diversi livelli, così gestiti, si ottiene quindi un'immagine nella quale le ombre derivano dal contributo di quattro differenti posizioni di illuminazione (figura 3).





*Figura 2 – Immagini del lacerto musivo acquisite con differenti posizioni di illuminazione.*

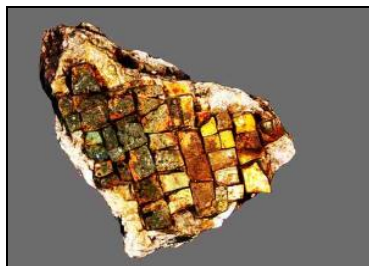


*Figura 3 – Immagine del lacerto mosaicato in verticale.*

L'immagine è stata successivamente convertita in scala di grigi e si è esasperato il contrasto e la luminosità per garantire una lettura finale più definita dei contorni (figura 4):



*Figura 4 – Immagine del lacerto con luminosità e contrasto esasperati.*

Infine, è stato applicato il filtro di *Sobel*: nelle zone in cui la luminosità è costante l'operatore di *Sobel* ha valore zero e corrisponde al bianco; sui contorni, è un vettore orientato che punta nella direzione in cui si passa da valori di scuro a valori di chiaro (figura 5).



*Figura 5 – Edge detection con filtro Sobel del lacerto musivo.*



### Acquisizioni panoramiche

Con fotografia panoramica, o *panoramic mosaic*, si identifica la tecnica che permette di creare un'immagine che copre un angolo visivo, tra 180° e 360°, realizzata tramite la composizione di un mosaico di foto adiacenti, per creare un'immagine ad altissima risoluzione, composta con software automatici, che riconoscono elementi corrispondenti nelle zone di sovrapposizione, calcolando funzioni di omotetia.

Per questo caso, sono stati utilizzati tre diversi ambienti software per la creazione di foto panoramiche su un lacerto musivo di ridotte dimensioni (circa 15 × 10 cm): *Autostich*, *Hugin* e *PTGui*.

#### *Autostich*

*Autostich* è un software di *image stitching* per la creazione di panorami, sviluppato da Matthew Brown e David G. Lowe della University of British Columbia.

*Autostich* usa metodi conosciuti come SIFT (Scale Invariant Feature Transform) e RANSAC (RANDOM Sample Consensus): i *keypoints* (punti chiave) SIFT di oggetti, vengono estratti da un insieme di immagini di riferimento e immagazzinati in un database. Un oggetto viene riconosciuto in una nuova immagine confrontando individualmente ogni *feature* della nuova immagine con il database precedentemente ottenuto e cercando *feature* tramite la distanza euclidea dei loro vettori. Dall'insieme completo di corrispondenze, nella nuova immagine, vengono identificati sottoinsiemi di *keypoints* che concordano con l'oggetto per posizione, scala ed orientazione.

Ogni cluster di 3 o più *feature* concordanti su un oggetto è soggetta ad ulteriore dettagliata verifica del modello ed infine viene calcolata la probabilità che un particolare insieme di *features* indichi la presenza di un oggetto, data l'accuratezza del *fit* ed un numero massimo di possibili false corrispondenze [Brow, Lowe, 2003].

Il procedimento per la realizzazione della foto panoramica con *Autostich* è quasi completamente automatico; l'unico requisito è che tutte le fotografie siano acquisite da un unico punto di presa.

La foto panoramica (figura 6) è stata ottenuta mosaicando otto foto ma, nei punti evidenziati, il software non è riuscito a trovare le *feature* corrispondenti fornendo in output un'immagine prospetticamente errata.

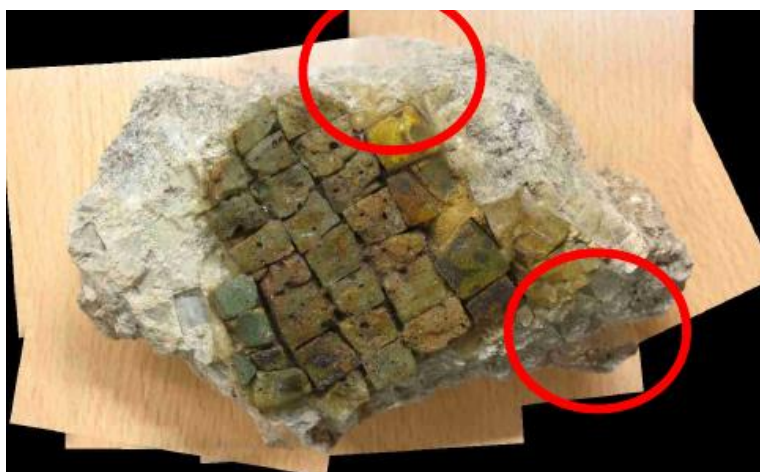


Figura 6 – Foto panoramica del lacerto musivo realizzata con *Autostich*.

### **Hugin**

*Hugin* è un software libero multiplatforma sviluppato da Pablo d'Angelo, della University of Bielefeld, che necessita di un notevole lavoro manuale per la creazione dei punti di controllo che permettono di collegare le immagini una all'altra. La foto panoramica (figura 7) è stata realizzata individuando 145 punti di controllo. Il risultato, anche in questo caso, è prospetticamente errato.



Figura 7 – Foto panoramica del lacerto musivo ottenuta con Hugin.

### **PTGui**

Originariamente, è stato creato per *Graphical User Interface for Panorama Tools* (da qui il nome). Questo ambiente software può creare panorami cilindrici a 360°, panorami parzialmente piani e panorami sferici di  $360^\circ \times 180^\circ$  [Mazzoleni et al., 2006]. Inoltre, non vi è la necessità di mantenere un punto fisso di camera ed è possibile unire immagini ruotate ed inclinate. PTGui può realizzare panorami in output dell'ordine dei Gigapixel da centinaia di foto; l'anteprima fornita è modificabile con appositi strumenti. Il risultato è una foto panoramica prospetticamente corretta e senza alcun errore nella mosaicatura (figura8).



Figura 8 – Foto panoramica del lacerto musivo ottenuta con PTGui.

## Texture polinomiali

Il PTM (*Polynomial Texture Mapping*) è un formato di file che può essere prodotto da fotografie digitali standard sottoposte a tecnologie di *image processing* per migliorare i dettagli della superficie e identificare le condizioni ottimali di illuminazione. Questa tecnica fin dalla sua prima applicazione, per lo studio di una tavoletta sumera del 2000 a. C., ha dimostrato essere importante nello studio del patrimonio dei Beni Culturali consentendo di decifrare le componenti illustrative [Malzbender et al, 2000].

Considerati i vantaggi che questo metodo offre, il suo utilizzo nel campo dei Beni Culturali si è diffuso in vari settori: dall'epigrafia alla numismatica, dagli studi litici a quelli su sarcofagi e frammenti architettonici.

Al fine di "riaccendere" virtualmente le tessere musive ed ottenere una maggiore percezione dei dettagli superficiali, quali il colore o i possibili danneggiamenti, non visibili durante l'osservazione fisica, il lacerto musivo è stato indagato con questa tecnica che, inoltre, può rappresentare un ottimo complemento alle tecniche di acquisizione 3D [Goesele, 2004].

Le caratteristiche visive della superficie di un oggetto variano in condizioni di luce diversa [Earl et al, 2010]; per un oggetto statico, le caratteristiche di riflettanza per ciascun pixel possono essere facilmente catturate e modellate da questa tecnica, semplice ma efficace, proposta da Malzbender [Malzbender et al, 2001].

Per ogni pixel, la funzione di riflessione è approssimata da un polinomio biquadratico nel modo seguente:

$$L(u, v, l_u, l_v) = a_0(u, v) l_u^2 + a_1(u, v) l_v^2 + a_2(u, v) l_u l_v + a_3(u, v) l_u + a_4(u, v) l_v + a_5(u, v) \quad [5]$$

dove  $l_u$  e  $l_v$  sono la direzione della luce incidente e  $u$  e  $v$  sono le coordinate dei pixel.

Ogni pixel di un'immagine PTM è composto dai valori RGB e dai sei coefficienti della funzione [Wenger, 2005].

I coefficienti sono calcolati da una serie di immagini acquisite da un punto di vista fisso con posizioni di luce diversa (figura 9) e, per stimare i coefficienti, le posizioni di luce devono essere note [Georghiades, Belhumeur, 1999].

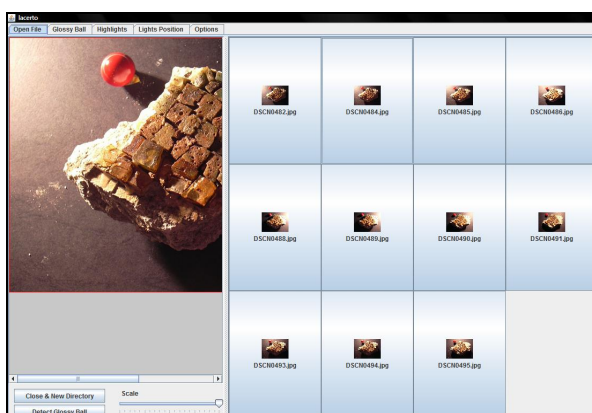


Figura 9 – Immagini del lacerto acquisite da un punto di vista fisso con posizioni di luci differenti.

Selezionare il corretto punto di illuminazione è un passo importante nell'acquisizione PTM e la luce deve essere posizionata in diversi punti formando una cupola virtuale di illuminazione.

Le immagini sono state acquisite posizionando una sfera di calibrazione vicino al lacerto, per consentire al modulo LPtracker di calcolare la posizione della fonte di luce (figura 10).



Figura 10 – Differenti posizioni della fonte di luce riflessa dalla sfera di calibrazione.

Il dataset PTM può essere gestito con differenti algoritmi di elaborazione delle immagini per evidenziare forme ed informazioni di particolare interesse.

L'algoritmo *Specular Enhancement* (figura 11) utilizza le normali alla superficie e permette la fusione del colore e delle proprietà di riflessione. È un metodo di ombreggiatura speculare per rendere l'oggetto registrato artificialmente lucido.

La rappresentazione *Diffuse Gain* (figura 12) è la variazione artificiale delle proprietà di riflettanza diffusa di ogni pixel. Ciò consente di variare il contrasto tra pixel adiacenti aumentando il valore di tonalità ed il contrasto chiaro/scuro nell'immagine.



Figura 11 – PTM in *Specular Enhancement*.

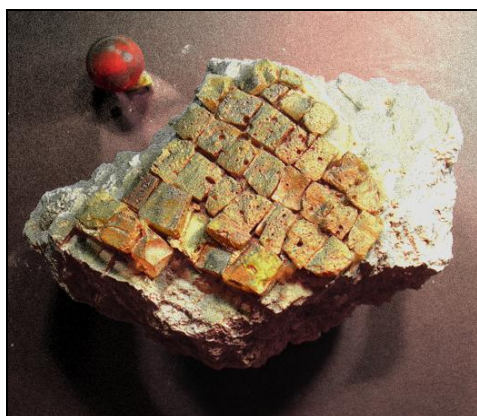


Figura 12 – PTM in *Diffuse Gain*.



Variando la direzione d'illuminazione cambiano le luci e le ombre e risaltano le sfumature dei colori delle tessere (figura 13). È possibile, inoltre, confrontare in un'unica immagine il dataset PTM con la *texture mapping* (figura 14); ciò risulta utile per “educare” l'occhio al maggior contrasto. La rappresentazione in *Display Normal Crosshair* (figura 15) fornisce una stima della normali alla superficie e viene visualizzata in falsi colori.



Figura 13 – Illuminazione virtuale da destra.



Figura 14 – PTM vs Texture Mapping.

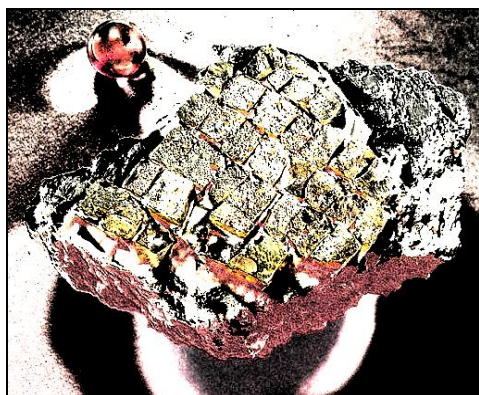


Figura 15 – PTM in Display Normal Crosshair.

## Conclusioni

Le tecniche di *image processing* e le *Polynomial Texture Mapping*, presentate in questo lavoro, sono complementari per lo studio dettagliato e la documentazione di un oggetto archeologico.

Con l'*edge detection*, applicata tramite il filtro di *Sobel*, è possibile estrapolare il contorno di un oggetto basandosi sul gradiente della luminosità dell'immagine. Nello studio del lacerto musivo è risultato utile per l'identificazione dei contorni delle singole tessere musive per caratterizzare il loro posizionamento nella malta di allettamento.

Le foto panoramiche permettono, invece, di creare un'immagine ad altissima risoluzione con dettagli altrimenti non visibili/apprezzabili in un unico "scatto" fotografico eseguito in modalità standard.

Le *Polynomial Texture Mapping* sono risultate utili nell'analisi delle caratteristiche della superficie in funzione dell'illuminazione; in particolare, i colori delle tessere musive possono essere visti in tutte le loro sfumature. L'uso del PTM ha permesso di produrre una visualizzazione interattiva dell'oggetto che, virtualmente, è stato riportato in vita dall'interazione della luce con i colori sulla superficie.

Inoltre, questa metodologia d'indagine, veloce nella produzione e semplice nell'archiviazione, può essere complementare, per la documentazione, alla scansione laser ed alla fotogrammetria, fornendo una migliore e più completa comprensione dell'oggetto nell'ambito dei Beni Culturali.

## Bibliografia

- Brow M, Lowe DG. (2003), "Recognising Panorama", Proceedings Ninth IEEE International Conference on Networks, 1218-1225.
- Earl G, Martinez K, Malzbender T. (2010), "Archaeological applications of polynomial texture mapping: analysis, conservation and representation", Journal of Archaeological Science, 37, 2040-2050.
- Georghiades A, Belhumeur P. (1999), "Illumination-Based Image Synthesis: Creating Novel Images of Human Faces Under Differing Pose and Lighting", IEEE Workshop on Multi-View Modeling and Analysis of Visual Scenes, 47-54.
- Goesele M. (2004), *New acquisition techniques for real objects and light sources in computer graphics*. PhD thesis, Universität Saarbrücken.
- Koschan A. (1995), "A comparative study on color edge detection" in proceeding of the 2<sup>nd</sup> Asian Conference on Computer Vision, December, Vol III, 574-578.
- Ludeschi S. (2009), *Il mosaico paleocristiano della basilica di Santa Giustina: contesto storico e nuove metodologie*, Tesi di laurea in "Storia e tutela dei beni culturali", Facoltà di Lettere e Filosofia, Università degli Studi di Padova.
- Malzbender T, Gelb D, Wolters H, Zuckerman B. (2000), "Enhancement of Shape Perception by Surface Reflectance Transformation", Hewlett-Packard Technical Report HPL-March 38,.
- Malzbender T, Gelb D, Wolters H. (2001): "Polynomial texture maps.", in SIGGRAPH '01: Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques (New York, NY, USA), ACM Press, 519-528.
- Mazzoleni P, Valtolina S, Franzoni S, Mussio P, Bertino E. (2006), "Toward a contextualized across to the cultural heritage world using 360 panoramic images", in Proceedings of the 18th International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering (SEKE 2006), San Francesco Bay, California, USA – July, 5-7.
- Pepi R. (1966), *Santa Giustina a Padova: Storia e arte*, Edizioni Monaci Benedettini.
- Wenger A, Gardner A, Tchou C, Unger J, Hawkinst T, Debevec P. (2005): "Performance Relighting and Reflectance Transformation with Time-Multiplexed illumination.", ACM Trans. Graph., 24, 756-764.



## **Realizzazione di una piattaforma GIS per l'analisi di un esteso fenomeno cinematico in Liguria**

Bianca Federici, Roberto Passalacqua, Rossella Bovolenta

DICAT: Dip. di Ingegneria delle Costruzioni, dell'Ambiente e del Territorio, Università degli Studi di Genova  
Via Montallegro 1, 16145 Genova, Tel. 0103532421, Fax 0103532546  
bianca.federici@unige.it, bovolenta@dicat.unige.it, passalacqua@dicat.unige.it

### **Sommario**

Il presente lavoro illustra la realizzazione di una piattaforma GIS per l'analisi dell'esteso fenomeno cinematico che interessa un'area di circa 5 km<sup>2</sup> circostante il capoluogo di Santo Stefano d'Aveto (Liguria). Poiché il fenomeno cinematico trae origine dall'interazione fra l'acqua ed il suolo, considerata la vastità della zona interessata da movimenti lenti e diffusi, sono state raccolte tutte le informazioni disponibili su un'unica "piattaforma". La presente memoria riferisce sul modello tridimensionale del sottosuolo finora elaborato, indicandone l'utilità nelle analisi di stabilità e mostrandone i futuri sviluppi. Attualmente sono in corso nuove analisi e prove per affinarlo ulteriormente.

### **Abstract**

The present paper deals with a 3D model in GIS (Geographic Information System), realized in order to study a diffused and continuous kinematic phenomenon in Liguria (Italy). The model integrates hydrological and geotechnical data. It allows the analysis of a large area (~ 5 km<sup>2</sup>), quite complex to schematize. The model features, its potentiality and further developments are illustrated.

### **1 INTRODUZIONE**

La località di Santo Stefano d'Aveto, principalmente conosciuta come stazione di villeggiatura montana, sorge su un'area da sempre caratterizzata da movimenti del sottosuolo, che hanno provocato nel tempo danni ad edifici privati ed opere pubbliche in diverse parti dell'abitato. Tali effetti sono stati ulteriormente amplificati dall'espansione edilizia cui è stato sottoposto il paese a partire dagli anni '60 e che ha introdotto fattori antropici al già delicato sistema naturale.

La zona in questione è in buona parte costituita da detrito morenico caratterizzato da estrema eterogeneità dei materiali presenti (grossi trovanti, lenti e tasche d'argilla, sabbia) e ricco di acque sotterranee in buona parte dell'anno. La presenza nel sottosuolo di zone a differenti permeabilità porta ad una circolazione idrica suddivisa localmente in filetti idrici e non ad una falda a profondità costante. Per tale motivo, verificandosi un costante movimento verso valle del deposito morenico (soprattutto a contatto con il substrato roccioso) il cui motore principale è l'acqua, si possono avere aree a velocità differente. Questa eterogeneità di permeabilità a livello locale e, quindi di spostamento, è testimoniata dai cedimenti, con conseguenti fessurazioni, di diverse opere. Da non trascurare sono anche i cedimenti del piano di campagna conseguenti a fenomeni di consolidazione che, per l'eterogeneità del sottosuolo, risultano di differente entità anche in punti vicini tra loro.

La consistenza dei danni, e la notevole diffusione all'interno di tutta l'area comunale, ha spinto amministrazioni condominiali e la Comunità Montana a promuovere e finanziare perizie tecniche e studi idro-geologici da parte di enti pubblici e privati per monitorare i danni e per promuovere soluzioni al fine di eliminare o, almeno ridurre, l'entità dei dissesti futuri. Infatti sono state eseguite indagini geognostiche e prove sismiche per caratterizzare il terreno ed il sottosuolo, monitoraggio di durata pluriennale per valutare il grado di mobilità della frana, censimenti sul grado di lesione degli

edifici ed altre operazioni di salvaguardia del territorio. Nella parte superiore del paese e nella zona ove è ubicata la chiesa è riscontrabile un movimento di massa che si propaga a velocità costante verso valle, mentre nella zona centrale ed in quella adiacente a Santo Stefano d'Aveto, il corpo detritico pare invece aver esaurito il suo movimento.

Dal momento che il fenomeno cinematico ha le sue origini nell'interazione fra l'acqua ed il suolo, e considerata la vastità della zona interessata da movimenti lenti e diffusi, si è ritenuto opportuno creare un modello tridimensionale su piattaforma GIS in cui fossero individuate oltre al profilo topografico, lo spessore di coltre e la posizione della linea di falda. A tale scopo sono state raccolte tutte le informazioni disponibili, rendendole operative in un unico ambiente di lavoro, integrandole con dati geofisici ed idrologici aggiuntivi, ottenuti mediante una campagna sperimentale appositamente condotta. E' stato impiegato il GIS *free* ed *open source* GRASS (Geographic Resources Analysis Support System) per poter distribuire il risultato del lavoro agli enti interessati senza essere legati a licenze proprietarie. Inoltre, utilizzando tale GIS *open source* è possibile analizzare direttamente gli algoritmi e le procedure esistenti, ed integrare funzionalità aggiuntive che possono essere restituite alla comunità con le stesse caratteristiche di riusabilità.

## **2 INFORMAZIONI RELATIVE AL SUOLO E SOTTOSUOLO**

Informazioni riguardanti il suolo ed il sottosuolo sono state desunte da diverse campagne sperimentali che hanno interessato l'area circostante il paese di Santo Stefano d'Aveto, effettuate da studi professionali ed Enti pubblici dagli anni 90 ad oggi.

Sono stati effettuati rilievi di superficie per la ricostruzione dei meccanismi di instabilità. Inoltre sono stati misurati gli spostamenti di oltre trenta capisaldi di misura opportunamente posizionati, attraverso monitoraggi topografici e GPS, periodici ma non automatizzati. Sono anche disponibili dati di interferometria satellitare per un'analisi delle velocità di bersagli radar (Permanent Scatterers) rilevabili sul corpo di frana dal satellite ERS per il periodo di osservazione 1992-2000, e dal satellite ENVISAT per il periodo 2002-2008.

Per quanto riguarda le indagini profonde, sono state effettuate indagini geognostiche e prove geotecniche di laboratorio, oltre a campagne di misure inclinometriche e piezometriche su un elevato numero di fori di sondaggio in modo da avere un quadro più realistico possibile della natura e spessore dei materiali coinvolti nel movimento, data la sua complessità ed estensione. Inoltre sono state effettuate indagini geofisiche mediante sismica a rifrazione e riflessione e MASW 2D; queste ultime, di minor dettaglio rispetto alle indagini geotecniche, sono prove indirette e, solitamente, non invasive che consentono di ricostruire il modello del sottosuolo, analizzando la variazione spaziale di alcune proprietà caratteristiche dello stesso.

Da tali campagne risulta che il sottosuolo è sostanzialmente costituito da:

- coltre detritica: matrice sabbioso limosa con blocchi plurimetrici dispersi;
- substrato: argilloscisti grigio scuro (Flysch di Ottone) e dal complesso di Monte Veri.
- 

## **3 NUOVE INDAGINI GEOFISICHE PER L'INDIVIDUAZIONE DELLO STRATO DI COLTRE**

Per una migliore caratterizzazione dell'area in esame sono state condotte nell'ambito del presente studio ulteriori indagini geofisiche volte a definire l'altezza di coltre soggetta a movimento attraverso misure di microtremore, che consistono nel ricavare il valore della frequenza fondamentale della coltre detritica in corrispondenza di ogni punto di misura.

In particolare, è stata effettuata una campagna preliminare di acquisizione di rumore ambientale considerando numerosi punti misura posizionati in modo da coprire uniformemente l'area considerata per l'analisi. Quindi è stata applicata la tecnica Nakamura (1989) per definire in modo preliminare le frequenze caratteristiche di ciascun sito necessarie per caratterizzare gli effetti di amplificazione eventualmente presenti. Infine, è stata installata una micro rete sismica, operante per un periodo sufficiente a raccogliere un database completo di segnali sismici attraverso cui valutare gli effetti di amplificazione locale presenti.

Mediante questa campagna è stato possibile realizzare un modello geologico e geotecnico per la caratterizzazione dell'area indagata. Il modello è stato individuato in termini di spessore del corpo detritico, di frequenza di risonanza e di velocità delle onde di taglio  $V_s$  dell'area investigata; tali parametri puntuali sono stati poi interpolati in ambiente GIS per la creazione di mappe distribuite (Figure 1 e 2). Nel seguito si descrive in maggior dettaglio tale campagna di misure.

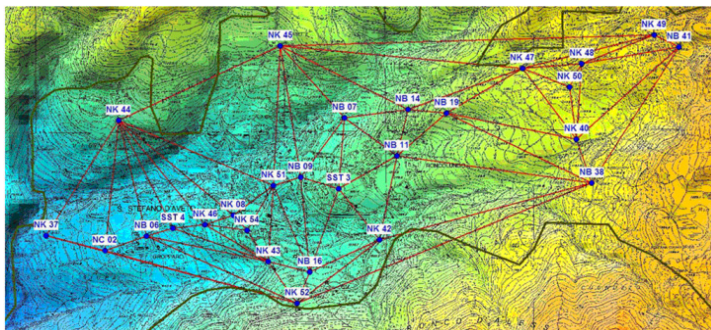


Figura 1 – Posizione dei punti di misura di microtremore e rete TIN utilizzata per la creazione di mappe di frequenza e di spessore del detrito.

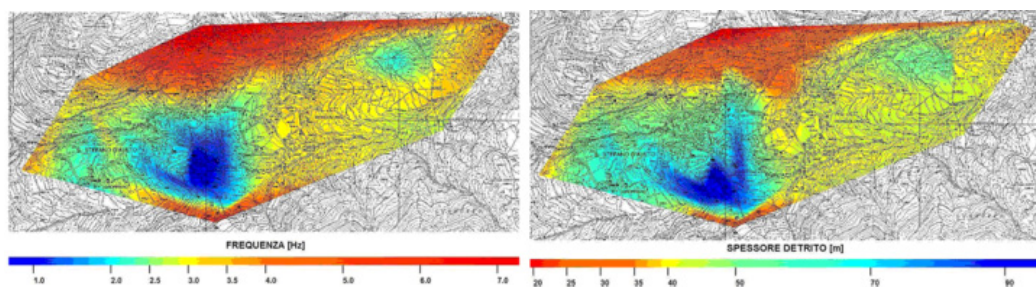


Figura 2 – Mappe delle frequenze di risonanza (a sinistra) e dello spessore del detrito (a destra).

### 3.1 Misure di rumore ambientale

Per determinare lo spessore della coltre è stata applicata la tecnica Nakamura (1989). Nota la frequenza fondamentale  $F_0$  e la velocità media delle onde di taglio  $V_s$  dei livelli di coltre sovrastanti il substrato, è possibile stimare lo spessore  $H$  di tali coltri dalla semplice relazione:

$$H = V_s / 4F_0 \quad [1]$$

Alternativamente, noti gli spessori del materiale detritico sovrastante il bedrock, ricavati da indagini preesistenti o dai modelli di velocità ottenuti mediante inversione tomografica, è possibile ricavare la velocità media  $V_s$  del materiale detritico che costituisce il corpo franoso. Nel caso in questione, il numero totale di misure effettuate è stato 68. A causa di alcune problematiche connesse all'installazione della strumentazione utilizzata, le misure utilizzabili sono risultate 28 e per ciascuna si è cercato di individuare, dove possibile, la frequenza di risonanza del deposito basandosi, per la scelta del picco significativo, anche sulle evidenze geologiche disponibili.

### 3.2 Prospezione sismica con misure di rumore ambientale su array

I sensori sono stati disposti secondo una geometria a stella sul piazzale che collega la piazza del comune alla frazione Casette. La registrazione del rumore ha avuto una durata di 30 minuti, ad una

frequenza di campionamento di 8 ms. La distanza massima dell' *array* è risultata essere di 45.62 m, mentre la minima distanza inter – geofonica di 22.17 m.

Le acquisizioni sono state elaborate mediante la tecnica *f – k Beam Forming e High Resolution*, basata sullo studio del campo d'onda nel dominio frequenza – numero. Contemporaneamente sono state determinate le direzioni di provenienza dei fronti d'onda che in un dato intervallo di tempo hanno attraversato l'*array* e la loro *slowness* in funzione della frequenza. Il numero dei sensori installato e la loro distribuzione spaziale ha permesso di esprimere la cosiddetta funzione di risposta dell'*array* in termini di valori di *slowness* osservabili nelle diverse direzioni e senza distorsioni.

Attraverso una procedura di *picking* manuale è stata ricavata la curva di dispersione che meglio analizza i massimi di coerenza rinvenuti nel diagramma frequenza – lentezza, per ciascuna coppia di valori. È stata quindi eseguita l'inversione della curva di dispersione per ottenere il modello di velocità delle onde S. Il modello è stato ottenuto confrontando la curva di dispersione sperimentale ottenuta dall'*array* con quella teorica, scegliendo, tra i vari modelli elaborati, quello con la minimizzazione degli scarti minore. Il modello è risultato affidabile per i primi 18 metri di profondità poiché la risposta dell'*array*, in termini di frequenza, risultava essere ottimale per frequenze comprese tra i 5 e i 15 Hz.

Per raggiungere risultati affidabili a profondità maggiori occorreva una distanza massima dell'*array* superiore, ma ciò non è stato possibile a causa dell'estensione limitata del piazzale su cui è stato eseguito.

### 3.3 Calcolo dello spessore della coltre detritica e di $V_s$

Il primo passo per la realizzazione del modello geologico e geofisico dell'area di Santo Stefano d'Aveto e, quindi del calcolo dello spessore della coltre detritica, del profilo di velocità delle onde S e la frequenza di risonanza a essa relativi, è stato recuperare tutti i dati già disponibili da indagini pregresse di cui 8 indicavano la profondità del substrato e di conseguenza lo spessore della coltre soprastante.

Per questi 8 punti, conoscendo la frequenza di risonanza ottenuta dalle misure di rumore ambientale e lo spessore ricavato dai sondaggi, è stato possibile effettuare il calcolo speditivo della velocità delle onde di taglio  $V_s$ . Il valore di  $V_s$  utilizzato per il calcolo dello spessore del sedimento soffice è confrontabile con i dati delle indagini pregresse, Masw e Remi.

## 4 ASPETTI IDROLOGICI E VALUTAZIONE DEL LIVELLO DI FALDA

L'analisi idrologica del sito si è articolata in due fasi. Nella prima è stata effettuata una campagna di misure di portata con lo scopo di studiare l'interazione tra acqua superficiale ed acqua sotterranea, mentre nella seconda si è cercato di interpretare, mediante semplici modelli, sia il sistema di drenaggio alveato che quello sotterraneo, con particolare riguardo alla determinazione del possibile andamento del livello di falda da inserire nel modello tridimensionale.

A tale scopo è stato necessario acquisire una maggior conoscenza della zona analizzando la cartografia digitale e confrontandola con sopralluoghi, quindi incorporare i risultati di studi precedenti ed, infine, effettuare misure di portata superficiali nei corsi d'acqua della zona.

Per brevità ci si sofferma soltanto sulla ricostruzione del possibile livello di falda e sul modello semplificato adottato.

### 4.1 L'idrologia della regione di Santo Stefano d'Aveto

Da un punto di vista idrologico, si possono osservare alcune singolarità:

- la presenza di due corsi d'acqua quasi paralleli (il Fossato Grosso a nord, ed il Rio Freddo a sud), separati dal corpo della morena glaciale;
- la deviazione del Rio Freddo, dovuta ad una paleofrana: essa dà luogo alla "bretella" che attraversa l'abitato di Santo Stefano per unirsi a Fossato Grosso;

- l'esistenza di piccoli corsi d'acqua "pensili" che attraversano il corpo della morena; il loro nome deriva dal fatto che presentano un alveo poco inciso e a volte posizionato ad una quota superiore a quella di zone limitrofe;
- all'estremità ovest della morena glaciale, il sistema di acque superficiali e sotterranee trova un unico recapito P evidenziato in figura 3.

Le misure eseguite nel corso della presente ricerca, unite ai risultati acquisiti in precedenti studi, hanno permesso di esaminare l'idrologia della regione di Santo Stefano d'Aveto prendendo in considerazione prima il sistema di drenaggio superficiale e poi quello sotterraneo.

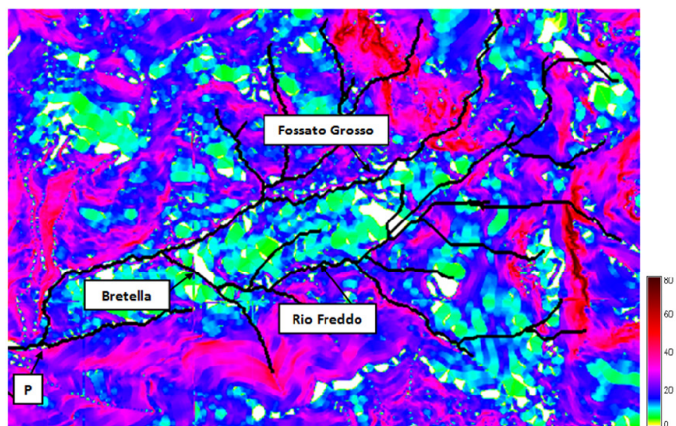


Figura 3 – Mappa delle pendenze (in gradi) e reticolo idrografico.

#### 4.2 Deflusso alveato

Al fine di interpretare il deflusso alveato si è scelto di utilizzare il modello dell'invaso lineare applicato al bacino del Rio Freddo.

Le misure di portata effettuate nell'ambito della presente ricerca, oltre ad essere utili per la taratura del modello, hanno permesso di quantificare lo scambio tra il torrente e la falda in corrispondenza dell'attraversamento dell'abitato di Santo Stefano d'Aveto.

Per determinare i parametri caratterizzanti il bacino in esame, non avendo a disposizione misure di portata in regime d'esaurimento, è stato necessario considerare che solo una parte di pioggia (pioggia netta) concorresse alla formazione della portata in entrata nel serbatoio.

Nell'ottica di impostare un bilancio idrico della zona, le operazioni appena descritte hanno permesso di modellare il deflusso alveato del Rio Freddo e di caratterizzare il suo bacino tramite opportuni parametri.

La tecnica usata per il Rio Freddo può essere sicuramente estesa al bacino di Fossato Grosso.

#### 4.3 Deflusso sotterraneo

Di particolare interesse per lo studio dell'esteso fenomeno cinematico risulta l'analisi del deflusso sotterraneo. La morena glaciale di Santo Stefano è sede di una falda idrica i cui effetti si manifestano attraverso movimenti del terreno, osservati in passato ed anche in tempi recenti.

Per effettuare verifiche di stabilità del terreno occupato dalla morena glaciale occorre individuare la parte di terreno occupata dall'acqua. In modo particolare occorre modellare il movimento dell'acqua nella falda per cercare di stimare almeno in prima approssimazione il suo spessore.

L'indagine sul posto, le misure di portata e l'esame di precedenti studi hanno permesso di giungere ad alcune conclusioni a riguardo dei rapporti idrici tra la falda e l'esterno.



La falda è alimentata dalla pioggia, da una piccola porzione del bacino idrografico di monte, e dall'apporto, in alcune porzioni limitate, dei due torrenti principali (in particolare la parte più alta del Fossato Grosso, all'altezza di Rocca d'Aveto, e la parte del Rio Freddo che attraversa l'abitato di Santo Stefano, la cosiddetta "bretella"). Concorrono a drenare la falda alcuni brevi tratti dei due rii principali prima della loro confluenza, e principalmente il tratto del Fossato Grosso che delimita la morena glaciale a ovest, là dove la morena finisce.

E' stato assunto, per semplicità di analisi, che la morena glaciale abbia una forma assimilabile a quella di un parallelepipedo, di lunghezza pari a 3000 metri e larghezza di 450 metri inclinato verso ovest con la stessa pendenza media del substrato della falda (circa il 15%). Si è ipotizzato, inoltre, che l'unica alimentazione alla falda sia rappresentata dall'acqua di pioggia, e che l'uscita sia localizzata esclusivamente al suo margine occidentale, trascurando quindi gli apporti positivi e negativi dei rii che la costeggiano e che l'attraversano (un tratto del Rio Freddo, il Rio Airon ed il rio pensile). Si è analizzato il moto nella falda come se fosse schematizzabile nella forma di onda cinematica. Il detrito morenico è stato considerato come un ammasso poroso omogeneo ed isotropo a cui è possibile applicare la legge di Darcy. Per quanto riguarda le condizioni al contorno, si è ipotizzato che al margine superiore la falda abbia spessore nullo. Il modesto contributo delle portate sotterranee provenienti da monte può essere aggiunto utilizzando il principio di sovrapposizione degli effetti.

Si è deciso di sollecitare il modello matematico con una sequenza molto lunga di anni tutti uguali, formati dalla successione delle 365 piogge giornaliere registrate per il 2010 dal pluviografo di Santo Stefano. In questo modo si supera anche il problema delle condizioni iniziali, che vengono assunte come quelle di terreno asciutto.

Per scegliere il coefficiente di permeabilità da utilizzare nella determinazione dell'andamento della falda è stato necessario sovrapporre il livello della falda al substrato e confrontarlo con alcune "sezioni di controllo".

## **5 PIATTAFORMA GIS**

I dati conosciuti e le analisi effettuate nel corso del presente lavoro sono stati inseriti su un'unica "piattaforma" GIS mediante il software GRASS 6.4 (*GRASS Development Team*, 2010), in modo tale da consentire un'immediata conoscenza della zona in esame e delle sue criticità.

In particolare, è stata importata la cartografia tecnica e tematica di base e le informazioni derivate dalle campagne di misura, organizzandole in più piani tematici. Sono state effettuate analisi della morfologia del territorio ed analisi di bacino, utili allo sviluppo dell'analisi idrologica. Quindi è stato realizzato il modello tridimensionale del substrato detritico e del livello di falda, attraverso analisi approfondite dei metodi di interpolazione ottimali per riprodurre la superficie in esame.

### **5.1 Importazione della cartografia e di informazioni aggiuntive**

Dopo aver impostato un ambiente di lavoro (*location*) nel sistema di riferimento Roma40 e proiezione cartografica Gauss-Boaga, coerente con la cartografia attualmente disponibile in Regione Liguria, sono stati importati i seguenti tematismi:

- Carta Tecnica Regionale (CTR) in scala 1:5000;
- Modello Digitale del Terreno (DTM) con risoluzione 5 metri;
- Carta dell'uso del suolo in scala 1:25000;
- Carte IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia) in scala 1:10000;
- Carta Geologica Regionale (CARG) in scala 1:25000;
- Carte delle isolinee relative agli spostamenti elaborati in direzione E-W e quelli relativi alla componente verticale derivanti dall'interferometria satellitare con il satellite ENVISAT, opportunamente georeferenziate.

In seguito alle campagne di misura, è stato importato il perimetro di frana, la posizione e i risultati delle misure di microtremore, le sezioni in cui sono state effettuate le misure di portata e la stazione di presa della centrale idroelettrica.



## 5.2 Analisi della morfologia del territorio

E' stata effettuata un'analisi della morfologia del territorio ricavando, dal DTM, la mappa dell'esposizione e quella della pendenza. La prima mette in evidenza come la zona di Santo Stefano e quella della morena detritica siano rivolte principalmente verso ovest, mentre il versante a nord della coltre detritica sia rivolto prevalentemente verso sud. La seconda evidenzia come le maggiori pendenze (colore rosso) coincidano con le principali vette della zona (Grosso Rosso e Monte Maggiorasca) mentre Santo Stefano d'Aveto e la morena detritica si collocano su pendenze che si aggirano intorno ai dieci gradi.

Quindi, è stata effettuata un'analisi di bacino per individuare la mappa di accumulazione, i principali bacini idrografici ed il corrispondente reticolo idrografico, utilizzando il metodo di Horton–Strahler.

Le elaborazioni sono state svolte con risoluzione spaziale pari a 5m.

## 5.3 Modello tridimensionale della coltre e del livello di falda

Infine è stato creato un modello tridimensionale dello spessore della coltre detritica, del profilo di velocità delle onde secondarie, della frequenza di risonanza ad esse relativi e dell'andamento della falda.

A partire dai risultati puntuali della campagna di misure di rumore ambientale, descritta nel par. 3, sono stati utilizzati diversi metodi di interpolazione ed è stato individuato in maniera critica il più idoneo a "ricostruire" la variabilità spaziale persa con il campionamento puntuale.

I metodi di interpolazione applicati sono stati TIN (*Triangulated Irregular Network*), IDW (*Inverse Distance Weighted*) e *spline*, verificando anche l'influenza dei valori assegnati ai loro parametri principali. Non si è utilizzata la tecnica *kriging* poichè richiede una fase di studio piuttosto lunga, accurata e dettagliata per creare una funzione di covarianza che approssimi al meglio la distribuzione dei dati e, per esperienza personale, il risultato finale non si discosta molto da una buona analisi effettuata con la tecnica *spline*.

Il metodo di interpolazione IDW implementato in GRASS con il comando *v.surf.idw* ha mostrato un comportamento anomalo, tendendo ad uniformare i dati anche laddove presentavano una forte discontinuità, indipendentemente dal valore del parametro *npoints* che indica il numero di punti osservati che concorrono al calcolo del punto incognito. Inoltre, il valore massimo dello spessore della coltre risultante dall'interpolazione era per esempio pari a 52 m, molto inferiore al valore massimo campionato di 90 m. Risultati attendibili, invece, si sono osservati utilizzando il comando *r.surf.idw*.

Il metodo di interpolazione *spline* implementato in GRASS è il *Regularized Spline with Tension* (comando *v.surf.rst*, Mitasova et al. 1993) mentre l'interpolazione TIN è stata ottenuta mediante il comando *r.surf.nnbathy*, non presente nella versione base del software ma disponibile tra i moduli aggiuntivi (GRASS Add-On Wiki, 2010).

Per stabilire quale tecnica di interpolazione utilizzata generasse una superficie interpolante più simile a quella reale, si è interpolato trascurando alcuni punti campionari meno significativi, ossia non rappresentativi di picchi o discontinuità, e verificando in essi la congruenza tra valore interpolato e valore campionato.

Per quanto concerne la realizzazione del modello tridimensionale del substrato, dopo numerose prove, si è individuato nell'IDW il metodo che maggiormente sembra adattarsi alla distribuzione dei dati campionari generando una superficie interpolante realistica (Figure 4).

Il modello tridimensionale del possibile livello di falda è stato ricostruito all'interno della coltre detritica a partire dal profilo longitudinale di falda, ottenuto mediante lo schema semplificato descritto nel par. 4; tale profilo è stato proiettato in direzione ortogonale mediante tassellazione di Voronoi utilizzando il comando *v.surf.idw* quale interpolatore "al più vicino" (*nearest neighbour*), ponendo il parametro *npoints* pari ad 1.

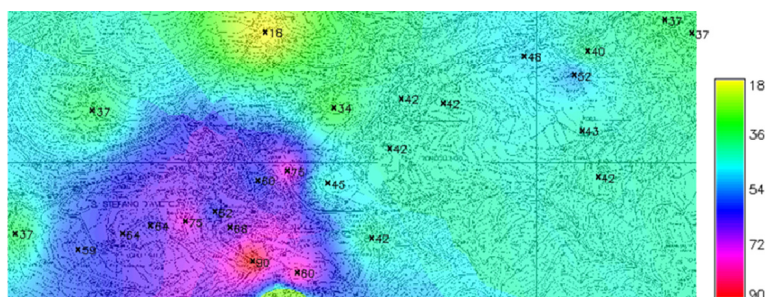


Figura 4 – Modello tridimensionale dello strato detritico (ottenuto mediante IDW con npoints=6).

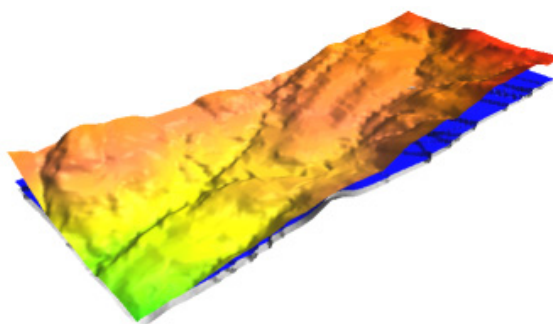


Figura 5 – Vista 3D dell'area soggetta a cinematiso diffuso (in azzurro è rappresentato il piano di falda, in grigio il piano di interfaccia coltre-substrato roccioso).

## 6 APPLICAZIONE DEL MODELLO 3D PER L'ANALISI DEL FENOMENO CINEMATICO

Il modello tridimensionale descritto è stato impiegato per effettuare analisi di stabilità bidimensionali mediante il codice *Slide*® [Rocscience, 2010]. Tale programma commerciale consente di svolgere analisi all'equilibrio limite globale, permettendo così di analizzare frane per scorrimento potenziali o reali. In generale, l'uso di tale programma è piuttosto semplice, ma particolare cura deve essere dedicata alla realizzazione del modello. Ovviamente la descrizione della geometria del problema è piuttosto onerosa qualora la sezione analizzata sia estesa ed articolata. In tal caso, il poter disporre di un modello tridimensionale come quello precedentemente descritto diviene particolarmente utile.

Per una generica sezione del modello tridimensionale (par. 5.3), si è interrogato il profilo topografico, la mappa dello spessore della coltre e quella dell'andamento della falda, estraendo i relativi profili altimetrici. Essi sono stati poi facilmente importati in *Slide*®, così da individuare superfici di potenziale scivolamento ed i relativi coefficienti di sicurezza, definendo così zone di maggiore criticità.

Ad esempio, all'interno dell'esteso fenomeno cinematico in atto a Santo Stefano d'Aveto è stata considerata una sezione di circa 700 metri che attraversa la parte alta dell'abitato e localizzata in una zona caratterizzata da spostamenti in direzione E-W piuttosto elevati (Figure da 6 a 8). Per verificare se il modello permette di cogliere le reali criticità dell'esteso fenomeno di Santo Stefano d'Aveto sono stati usati come termine di paragone i dati disponibili da interferometria satellitare (Figura 9). Le seguenti brevi considerazioni possono essere fatte in merito a tali prime analisi:

- i metodi all'equilibrio limite globale non rappresentano l'approccio più corretto in questo caso, in quanto trattasi di un esteso fenomeno cinematico e non di un meccanismo di rottura governato dalla formazione di banda di taglio;

- il volume esaminato rappresenta una “piccola” porzione (malgrado la sezione abbia lunghezza pari a 700m) dell’intera massa soggetta a movimento;
- le informazioni relative alle caratteristiche del sottosuolo sono scarse, indicative più che altro degli strati superiori;
- un confronto diretto fra i risultati ottenuti dalla tecnica di interferometria satellitare (tecnica peraltro discussa sotto molti punti di vista) con i risultati ottenuti dall’analisi di stabilità statica eseguita con Slide<sup>®</sup> non è corretto, in quanto si mettono in relazione movimenti in atto con potenziali superfici di scorrimento.

Malgrado ciò le analisi effettuate risultano incoraggianti ed il modello realizzato appare un utile ausilio.

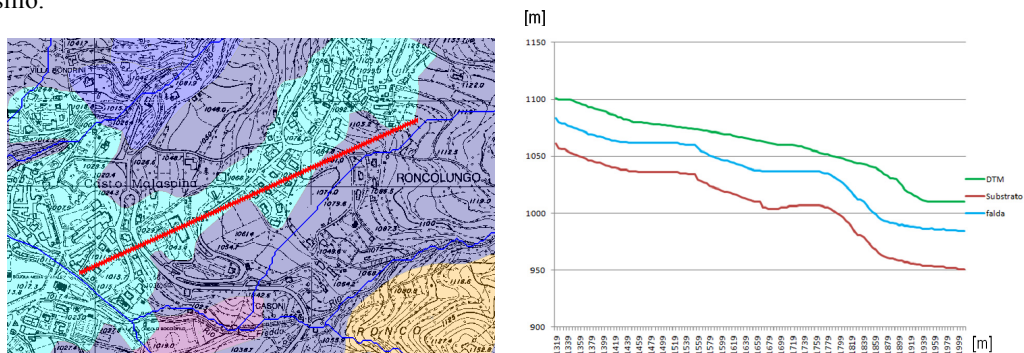


Figura 6 – Posizione della sezione prescelta (in rosso, a sinistra) e andamento del profilo topografico, del livello di falda e del substrato roccioso lungo essa (a destra).

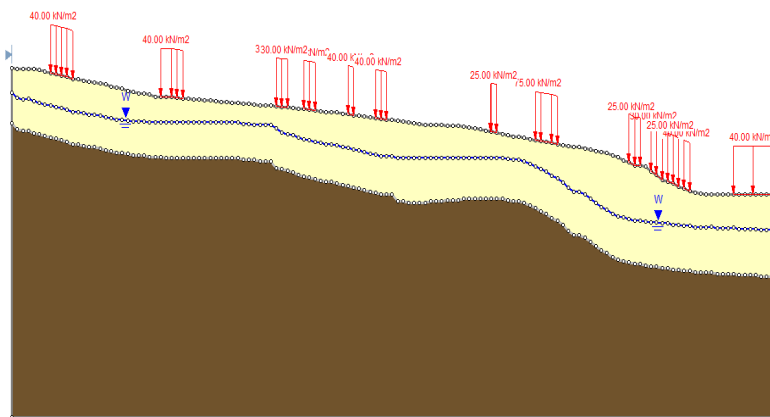


Figura 7 – Sezione di interesse riportata in Slide<sup>®</sup>

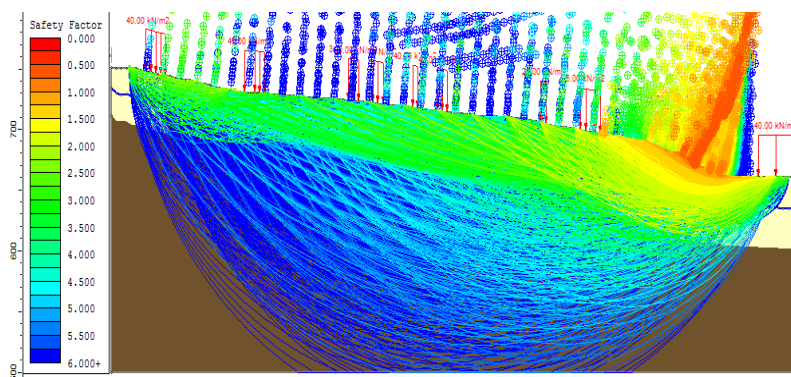


Figura 8 – Risultati delle analisi di stabilità con Slide®

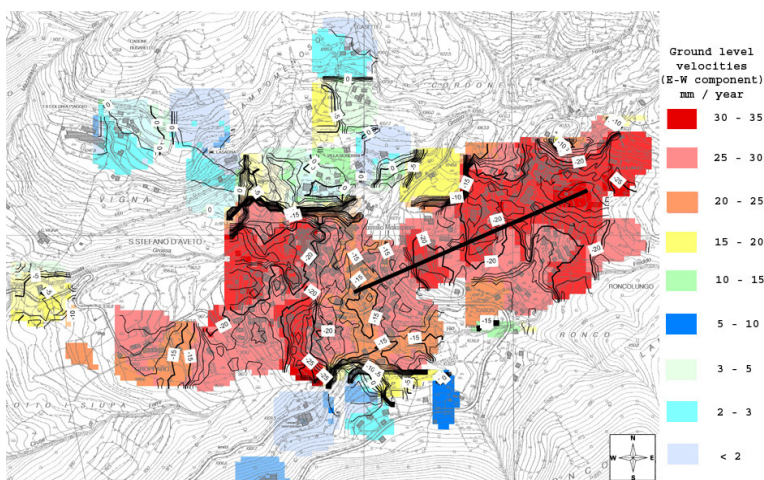


Figura 9 – L'interpretazione dei dati satellitari ENVISAT (componente orizzontale di movimento in direzione E – W) e, in nero, il profilo della sezione sottoposta a verifica di stabilità.

## 7 ULTERIORI SVILUPPI

L'approccio innovativo che si ritiene importante introdurre, nel proseguire l'attività di ricerca qui illustrata, consiste nel considerare il carattere evolutivo delle precipitazioni, aggiornando i dati di pioggia incidente con quanto rilevato sistematicamente dalla rete pluviometrica distribuita sul territorio. In tal modo, il modello permetterebbe previsioni dell'innescio dei fenomeni franosi, simulando scenari meteorici futuri che considerino le storie pluviometriche pregresse ed attuali.

Affinché una modellazione fisico-meccanica dei cinematismi di versante riesca a cogliere il principio causa-effetto (pioggia → frana), per le coltri di detrito è necessario individuare una procedura che corredi l'intensità di pioggia incidente alla quantità d'acqua che si infila nel terreno in loco. Infatti, secondo l'approccio tipicamente geotecnico, l'aumento di pressione dell'acqua interstiziale al crescere del livello di falda, riduce progressivamente la resistenza efficace mobilitata nel terreno che, divenendo inferiore ad un determinato valore limite, dà luogo al dissesto gravitativo. Tale condizione emerge quando il rapporto a secondo membro della seguente relazione assume valore minore dell'unità:

$$F_s = \frac{c' + z \cdot \cos^2 \theta \cdot (\gamma - m \cdot \gamma_w) \cdot \tan \varphi'}{\gamma \cdot z \cdot \cos \theta \cdot \sin \theta} \quad [2]$$

La [2] definisce (Skempton, De Lory, 1957) il *coefficiente di sicurezza*  $F_s$  alla generica profondità 'z' di un pendio indefinito, con acclività  $\theta$ , mettendo in relazione la sua resistenza limite (a numeratore) con quella mobilizzata dalle forze spingenti (a denominatore); in essa, il terreno è caratterizzato dai parametri di *resistenza a taglio in condizioni efficaci* ( $c' - \varphi'$ ) e dal suo peso dell'unità di volume ( $\gamma$ ), mentre il livello di falda (cioè la colonna d'acqua interstiziale di peso unitario  $\gamma_w$ ) è assegnato dal fattore 'm'. Utilizzando la [2] in modo spazialmente distribuito sull'area in esame, è possibile valutare se esiste, in ciascuna posizione planimetrica, una profondità 'z' (incrementata fino a raggiungere eventualmente lo strato locale stabile di base) ove è superata la condizione di equilibrio limite, cioè  $F_s < 1$ .

Questa tecnica d'analisi è realizzabile in ambiente GIS, in quanto permette all'utente di implementare *macro* o *procedure* personalizzate.

Riguardo alla sequenza operativa, in estrema sintesi, si deve procedere a:

- predisporre il layer tematico delle acclività locali  $\theta$ , discretizzato in celle unitarie (*pixels*);
- suddividere l'intera area in poligoni, secondo un processo di *Land Tessellation*, ed associare ad ognuno di essi una omogenea caratterizzazione fisico-meccanica del terreno (porosità, coefficiente di permeabilità, peso unitario, resistenza a taglio);
- intersecare i poligoni con le celle unitarie, per assegnare automaticamente a ciascuna di quest'ultime i parametri caratteristici del terreno in posto.

Per correlare le storie meteoriche agli innalzamenti di falda si può introdurre un modello idrologico, relativamente semplice, basato sull'utilizzo del parametro sintetico CN (*Curve Number*). Questo, proposto negli anni '70 dall'S.C.S. statunitense (*Soil Conservation Service*, 1972 – 1975), permette di valutare la quota parte di pioggia incidente al suolo che defluisce per ruscellamento superficiale, mentre la quota restante infiltra nel terreno. Per una più completa descrizione del CN si rimanda a Passalacqua (2002), report tematico nell'ambito del quale tale modello idrologico è già stato implementato. Con esso è possibile effettuare un bilancio idrologico continuo, considerando l'acquifero sub-superficiale come un serbatoio a svuotamento continuo regolato da gradiente, permeabilità ed evapotraspirazione locali, che riceve alimentazione dalle piogge incidenti (Passalacqua, Baretto, 2003). Mantenendo aggiornati i dati di pioggia, gli attuali livelli di falda risulteranno da una complessa storia di azioni meteoriche.

Per completare la descrizione della sequenza operativa indicata sopra, è necessario:

- assegnare i valori dei CN ai centroidi georeferenziati delle celle unitarie;
- implementare una procedura automatica in ambiente GIS che, per ogni cella unitaria, esegua il descritto bilancio idrologico, valuti le conseguenti evoluzioni di falda e verifichi il superamento, o meno, delle condizioni di equilibrio limite.

L'ultimo punto rappresenta il vero e proprio algoritmo dinamico, che introduce le innovative capacità di analisi e previsione di fenomeni franosi, su vasta scala, dovuti ad eventi meteorici. L'implementazione della procedura per l'analisi delle oscillazioni di falda e per le successive analisi di stabilità del corpo frana è attualmente in svolgimento.

## 8 CONCLUSIONI

Nel corso della presente ricerca sono state raccolte tutte le informazioni disponibili relative alla zona di Santo Stefano d'Aveto (indagini geognostiche e geofisiche, monitoraggio geotecnico, topografico e GPS e dati ottenuti con la tecnica di interferometria satellitare) su un'unica "piattaforma" GIS ed è stato così possibile gestire dati *raster* e vettoriali, sviluppare indagini, elaborare immagini e visualizzare gli attributi dei dati. La piattaforma è stata, quindi, arricchita dall'interpretazione dei risultati di prove geofisiche, che hanno permesso la realizzazione di un modello tridimensionale dello spessore della coltre detritica, nonché da un'analisi idrologica che ha



consentito di individuare i bacini ed il reticolo idrografico della zona e da uno studio del deflusso sotterraneo che ha reso possibile, mediante un semplice modello, di ottenere l'andamento della falda entro la coltre detritica. La "piattaforma" creata in GRASS rappresenta un utile strumento di lavoro poiché consente di ottenere molte informazioni, a tavolino, mediante la semplice sovrapposizione di diversi *layer*. Tale funzione si rivela estremamente efficace e rapida qualora si vogliano analizzare porzioni di territorio estese e complesse. Con il semplice tracciamento di una retta in GRASS e selezionando i *layer* necessari è possibile ottenere, in maniera automatica ed immediata, l'andamento della superficie topografica, del livello di falda e del substrato di un'ampia porzione di territorio. Il presente lavoro costituisce l'inizio di un percorso più lungo; il modello sviluppato potrà sicuramente essere arricchito da ulteriori dati che si renderanno disponibili e da nuove analisi in modo tale da diventare più aderente alla realtà.

Dal momento che, come già evidenziato, il fenomeno cinematico è fortemente influenzato dall'acqua presente nel sottosuolo, si ritiene che l'analisi delle oscillazioni di falda mediante il metodo del Curve Number CN (Soil Conservation Service – United States Department of Agriculture, 1972) potrebbe risultare particolarmente significativa e quindi, come diffusamente descritto nel precedente cap. 7, è proprio in tale direzione che si sta orientando la presente ricerca.

Seppur ulteriormente sviluppabile, si ritiene che allo stato attuale, il modello realizzato rappresenti uno strumento idoneo per l'inquadramento dell'esteso fenomeno cinematico di Santo Stefano d'Aveto e possa costituire senza dubbio un valido supporto per la pianificazione territoriale ed urbanistica. La realizzazione di modelli tridimensionali in GIS consente un'analisi territoriale integrata ed orienta ad un approccio più maturo ed approfondito nella gestione del territorio e nella progettazione degli interventi.

#### **RINGRAZIAMENTI**

Si ringrazia il Settore Sistemi Informativi e Telematici della Regione Liguria, nella persona del dirigente Dott.ssa Pasetti, per aver messo a disposizione la cartografia tecnica e tematica. Si ringraziano inoltre i laureandi Marco Dasso, Federica Basso e Marta Venzano per il loro prezioso lavoro.

#### **Bibliografia**

- GRASS Add-On Wiki (2010). [http://grass.osgeo.org/wiki/GRASS\\_AddOns](http://grass.osgeo.org/wiki/GRASS_AddOns)
- GRASS Development Team (2010). Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Software, Version 6.4.0. Open Source Geospatial Foundation. <http://grass.osgeo.org>
- Mitasova, H. and Mitas, L. (1993), "Interpolation by Regularized Spline with Tension: 1. Theory and Implementation". *Mathematical Geology*, 25 (6), 641-655.
- Nakamura Y. (1989), "A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface", Report of the Railway Technical Research Institute (RTRI), Vol. 30 - No.1, Tokyo, Japan.
- Passalacqua R., Baretto A. (2003): "Landslides and rockfalls predictions by G.I.S. in Western Liguria", Proc. Int. Conference on Fast Slope Movements Prediction and Prevention for Risk Mitigation (FSM2003), Napoli, 11-13 Maggio, L. Picarelli Ed. (Pàtron), ISBN 8855526995, pp. 421-429.
- Passalacqua R. (2002): "Vulnerabilità territoriale da frane e crolli in roccia", Prog. UE INTERREG II – Cooperazione transfrontaliera Italia-Francia: Progetto G.E.R.I.A., Dossier Tematico n° 8, Collana Territorio e Ambiente, Edizioni del Delfino Moro, Albenga (SV), Dicembre 2002, ISBN 88-88397-05-1, pp. 1-37.
- Rocscience Inc. (2010), "Slide©: 2D limit equilibrium slope stability for soil and rock slopes", ver. 6.0, 31 Balsam Avenue, Toronto, ON, Canada, M4E 3B5.
- Skempton A.W., De Lory F.A. (1957), "Stability of natural slopes in London Clay", in: Proc. 4th Int. Conf. on Soil Mechanics & Foundation Engineering, vol. 2, pp. 378-381.
- Soil Conservation Service (1972), "Hydrology", in: National Engineering Handbook, sec. 4, U.S. Dept. of Agriculture, Washington D.C.
- Soil Conservation Service (1975), "Urban hydrology for small watersheds", Tech. Rel. No. 55, U.S. Dept. of Agriculture, Washington D.C.



## **Elaborazione di immagini satellitari ad alta risoluzione per l'analisi multiscalare e multitemporale delle dinamiche di uso del suolo: integrazione in ambiente GIS con le metriche del paesaggio**

Carmelo Riccardo Fichera (\*), Giuseppe Modica (\*),  
Maurizio Pollino (\*\*), Antonio Bruno Della Rocca (\*\*)

(\*) Università degli Studi "Mediterranea" di Reggio Calabria, Dipartimento di Scienze e Tecnologie  
Agro-Forestali ed Ambientali (DiSTaFA), Loc. Feo di Vito, 89122 Reggio Calabria  
cr.fichera@unirc.it, giuseppe.modica@unirc.it

(\*\*) ENEA, Laboratorio Analisi e Osservazione del sistema Terra (UTMEA-TER), C.R. Casaccia  
Via Anguillarese 301, 00123 Roma, maurizio.pollino@enea.it, antonio.dellarocca@enea.it

### **Riassunto**

L'utilizzo congiunto delle tecniche di Telerilevamento e GIS è fondamentale nell'affrontare una vasta gamma di problematiche ambientali e territoriali. Uno degli aspetti in cui tale sinergia si mostra particolarmente efficace è quello connesso alla mappatura della copertura e dell'uso del suolo (*Land Cover/Land Use*, LULC) ed all'analisi multiscalare e multitemporale dei cambiamenti occorsi. In questo contesto, viene descritto il caso di studio relativo all'area della Conca di Avellino, nel corso del quale è stata realizzata una analisi spazio-temporale delle dinamiche di uso del suolo, basata sulle suddette tecnologie in combinazione con l'utilizzo di metriche del paesaggio (*landscape metrics*). Per l'area in esame era già disponibile un *dataset* multitemporale di immagini aree e satellitari (Landsat) elaborato, interpretato e classificato nell'ambito di precedenti attività di ricerca. Partendo da tali risultati, è stata avviata una nuova linea di attività di ricerca - descritta nel presente lavoro - finalizzata al proseguimento ed approfondimento delle suddette analisi ad una scala di maggior dettaglio. A tal fine, sono state elaborate immagini satellitari ad alta risoluzione geometrica e spettrale: una scena QuickBird (ris. 0,60-2,80 m, 4 bande, Maggio 2005) ed una scena WorldView-2 (ris. 0,50-2,00 m, 8 bande, Giugno 2010), da cui sono state prodotte mappe di LULC dettagliate ed aggiornate. I risultati sono stati integrati, in ambiente GIS, al calcolo di specifiche metriche del paesaggio. La caratterizzazione e la distribuzione spaziale degli elementi del paesaggio, condotta con tale approccio multi scalare e multitemporale, consente di comprendere ulteriormente le dinamiche dei cambiamenti, antropici e naturali, in quella particolare zona di transizione costituita dalle aree di frangia urbano-rurale. In particolare, è possibile analizzare e interpretare gli effetti sulla sua configurazione derivanti dagli strumenti urbanistici varati in seguito al terremoto dell'Irpinia dell'80. Tali strumenti hanno difatti inciso fortemente sulle modifiche intervenute, specie nelle aree di transizione tra il sistema agricolo e il sistema urbano.

### **Introduzione**

Le problematiche di carattere ambientale e territoriale, data la loro complessità, per essere affrontate e studiate necessitano di un grande numero di informazioni specifiche alle diverse scale spaziali e temporali che devono poi essere sintetizzate opportunamente e rese fruibili per la comprensione dei fenomeni e dei processi nonché per le conseguenti azioni di intervento sul territorio stesso. In questo contesto generale, avere informazioni dettagliate ed aggiornate circa i cambiamenti nell'uso e nella copertura del suolo (*Land Use/Land Cover*, LULC) riveste una fondamentale importanza qualora si vogliano analizzare e comprendere le relazioni reciproche che intercorrono tra le attività antropiche e l'ambiente naturale. Questo tipo di informazioni può essere ottenuto attraverso

l'adozione di sistemi di indagine che utilizzino - congiuntamente - le tecnologie aerospaziali di Telerilevamento (TLR) e quelle connesse ai Sistemi Informativi Territoriali (GIS). In particolare, le tecniche di TLR rappresentano la principale e più importante sorgente di dati ed informazioni per lo studio del LULC e dei suoi cambiamenti nel corso del tempo. Infatti, utilizzando *dataset* multi-temporali di immagini telerilevate, è possibile identificare e mappare i cambiamenti nel paesaggio, fornendo un valido supporto alle attività di pianificazione e monitoraggio del territorio (Dewan et al., 2009), così come è stato fatto per l'area di interesse oggetto del presente studio. Come mostrato da Antrop (2000 e 2004), lo sviluppo delle aree urbane è in grado di incidere fortemente sul paesaggio, provocando la trasformazione di aree rurali in urbanizzate e producendo sostanziali mutamenti funzionali, sia da un punto di vista morfologico sia strutturale. Del resto, storicamente, l'espansione urbana e le attività agricole sono in competizione per le medesime aree. Accade così che, sotto la spinta dell'aumento della popolazione, nuovi agglomerati urbani prendono il posto di aree precedentemente adibite ad uso agricolo. Ad esempio, l'ammontare del suolo consumato in Europa per effetto dell'espansione urbana (e delle infrastrutture ad essa associate) è stato, tra il 1990 ed il 2000, pari a circa  $800 \text{ km}^2 \cdot \text{anno}^{-1}$  (EEA, 2006). In particolare, nel caso dell'Italia è possibile osservare nel corso degli anni un incremento della pressione verso le aree rurali, a causa dei costi più bassi dei terreni nonché allo spostamento verso le aree periferiche e suburbane di funzioni tipiche delle centralità urbane (Murgante & Danese, 2011). La conseguenza è un *trend* demografico inverso rispetto a ciò che si verificò nel secondo dopoguerra: si assiste, in altre parole, ad uno spostamento della popolazione dalle città alle campagne e, quindi, a nuovi processi urbanizzativi non sempre pianificati.

### L'area di studio

L'area di studio è localizzata nella Provincia di Avellino. Essa è caratterizzata da molti centri abitati di piccole e medie dimensioni sparsi nel territorio della Provincia, il cui capoluogo Avellino (348 m s.l.m., distante circa 60 km da Napoli, 56.368 abitanti nel 2010) è situato al centro di una pianura denominata "Conca di Avellino", circondata a NO dai monti del Massiccio del Partenio (Monti di Avella, Montevergine e Pizzo d'Alvano) e a SE dai Monti Picentini.

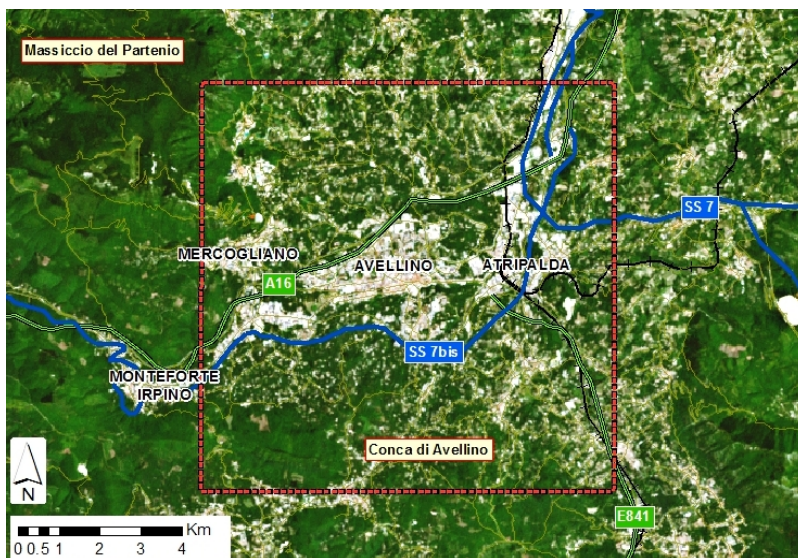


Figura 1 – Area di studio.

La zona di Avellino fu duramente colpita dal disastroso terremoto dell'Irpinia del 23 novembre 1980 (intensità pari a 6,9 nella scala Richter), che provocò quasi 3.000 vittime, più di 80.000 feriti e lasciò 280.000 persone senzatetto. Per la ricostruzione delle aree distrutte o danneggiate dal sisma lo Stato Italiano ha speso negli ultimi trent'anni circa 30 miliardi di Euro. Inoltre, al fine di governare la ricostruzione, sono stati emanati numerosi strumenti legislativi (leggi, decreti, ordinanze): tra questi va menzionata la Legge n. 219/81, che assegnò a ciascun Comune terremotato la gestione degli strumenti urbanistici, sotto il coordinamento della Regione Campania. Dal 2006, la pianificazione territoriale di Avellino e dei Comuni limitrofi è regolata da due strumenti urbanistici: il P.I.C.A. (Progetto Integrato Città di Avellino) ed il P.U.C. (Piano Urbanistico Comunale). In questo contesto generale, le analisi descritte nel presente articolo riguardano l'area del Comune di Avellino (Figura 1), al centro dell'omonima Conca, stante la sua particolare collocazione e conformazione: un'area urbanizzata (nella zona centrale) circondata dalle due aree naturali protette del Parco Regionale del Partenio (14.870 ha) e del Parco Regionale dei Monti Picentini (62.200 ha).

### La classificazione della copertura del suolo e l'analisi dei cambiamenti

Per l'area in esame era già disponibile un *dataset* multitemporale di immagini aeree e satellitari (Landsat). Utilizzato per la classificazione e l'analisi del LULC nell'arco del cinquantennio 1954÷2004 nell'ambito di precedenti attività di ricerca (Fichera et al., 2010), tale *dataset* è così costituito:

- Foto aeree: 1954 (digitale), 1974 (analogico, poi scansionato) e 1990 (digitale) [fonte: Istituto Geografico Militare Italiano, IGMI];
- Immagini Landsat: MSS 1975, TM 1985, TM 1993 and ETM+ 2004 [fonte: Global Land Cover Facility, GLCF, <http://glcf.umd.edu>];
- Ortofoto aeree digitali: 1994 e 2006 [accessibili tramite servizio WMS presso il sito del Portale Cartografico Nazionale, PCN, <http://www.pcn.minambiente.it>].

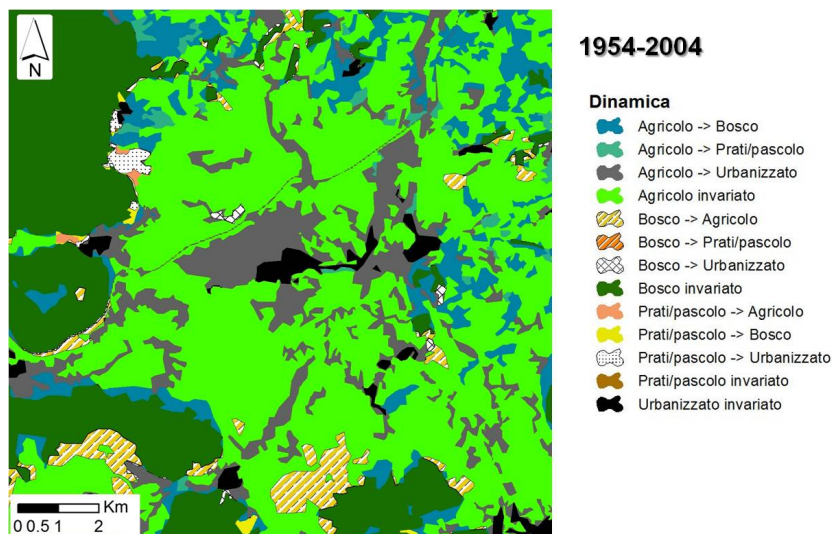


Figura 2 – Mappa dei cambiamenti nel LULC nel corso del primo periodo di analisi 1954-2004.

Da questo *dataset* sono state prodotte cinque distinte mappe di LULC (1954, 1975, 1985, 1993 e 2004), integrate in ambiente GIS (Petit & Lambin, 2001) per le successive operazioni di analisi spaziale, finalizzate all'individuazione ed all'analisi dei cambiamenti (Change Detection) nel LULC

(Singh, 1989). Ricorrendo ad un approccio integrato di tipo GIS, è stato possibile integrare le informazioni spaziali di base (area, perimetro, localizzazione, ecc.) di ciascuna classe di LULC, con quelle riguardanti la quantità totale, l'estensione e la dinamica del cambiamento. In tal modo, sono state prodotte le mappe della dinamica dei cambiamenti avvenuti nel corso del primo periodo analizzato (1954÷2004, Figura 2). Per i dettagli relativi ai pacchetti software, utilizzati, al *pre-processing* ed alla classificazione dei dati, alle verifiche di accuratezza geometrica e tematica, alla produzione delle mappe di LULC ed alle procedure GIS si rimanda a Fichera et al. (2011).

I suddetti risultati hanno costituito la base per una serie di sviluppi nell'ambito di tale attività di ricerca, il cui obiettivo è il proseguimento e l'approfondimento delle analisi già svolte per il periodo 1954÷2004, lavorando ad una scala di maggior dettaglio ed ampliando l'intervallo temporale. A tal fine, sono state elaborate due nuove immagini satellitari ad alta risoluzione geometrica e spettrale: una scena QuickBird (Maggio 2005) ed una scena WorldView-2 (Giugno 2010), le cui caratteristiche principali sono riportate nella Tabella 1.

| Satellite   | Data acquisizione | Risoluzione geometrica | Informazioni                                                                     |
|-------------|-------------------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| QuickBird   | 01/05/2005        | 2,40 m (Mul.)          | Multispettrale 4 bande<br>(R, G, B, NIR) - Level 2A                              |
| WorldView-2 | 29/06/2010        | 2,0 m (Mul.)           | Multispettrale 8 bande<br>(Coastal, B, G, Y, R, Red Edge, NIR1, NIR2) - Level 3D |

Tabella 1 – Caratteristiche principali delle immagini ad alta risoluzione utilizzate.

Di particolare rilievo è l'utilizzo di dati acquisiti dal satellite Worldview-2. Lanciato nell'ottobre 2009, esso acquisisce immagini multispettrali ad 8 bande con risoluzione di 1,8 m ed immagini pancromatiche con risoluzione di 46 cm (commercializzate con la risoluzione di 50 cm nel pancromatico e 2 m nel multispettrale). La particolarità di WorldView-2 (Updike & Comp, 2010) sta nell'essere il primo satellite commerciale ad alta risoluzione in grado di acquisire, oltre alle quattro tipiche bande Blu, Verde, Rosso ed Infrarosso Vicino (B,G,R,NIR), altre quattro bande multispettrali: la *Coastal Band* (400 - 450 nm), la *Yellow Band* (585 - 625 nm), la *Red Edge Band* (705 - 745 nm) ed una ulteriore *Near Infrared Band* (NIR2, 860 - 1040 nm) (Figura 3).

Dalla classificazione delle immagini QuickBird e WorldView-2 (approccio *supervised*, algoritmo *Maximum Likelihood*) sono state prodotte due mappe di LULC più dettagliate ed aggiornate (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**), nelle quali si è - in seguito - provveduto ad una sintesi delle classi di copertura del suolo, in modo da renderle comparabili con le analoghe mappe prodotte per l'intervallo 1954÷2004 e, soprattutto, per focalizzarsi sulla analisi dell'espansione dell'urbanizzato nell'area di studio.

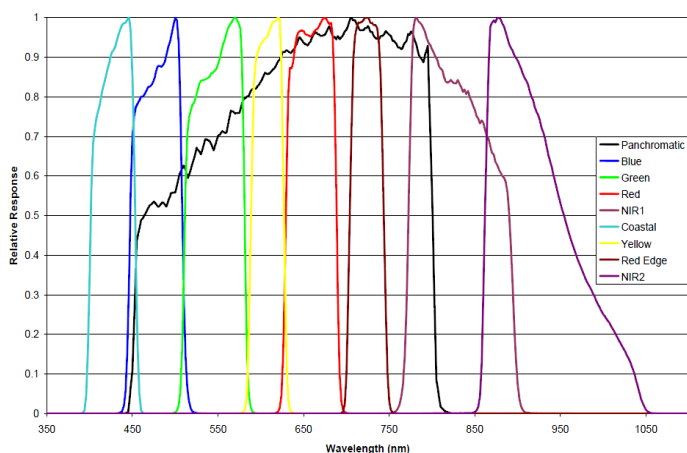


Figura 3 – Risposta spettrale (nm) delle bande del Satellite WorldView-2 (Fonte: DigitalGlobe).



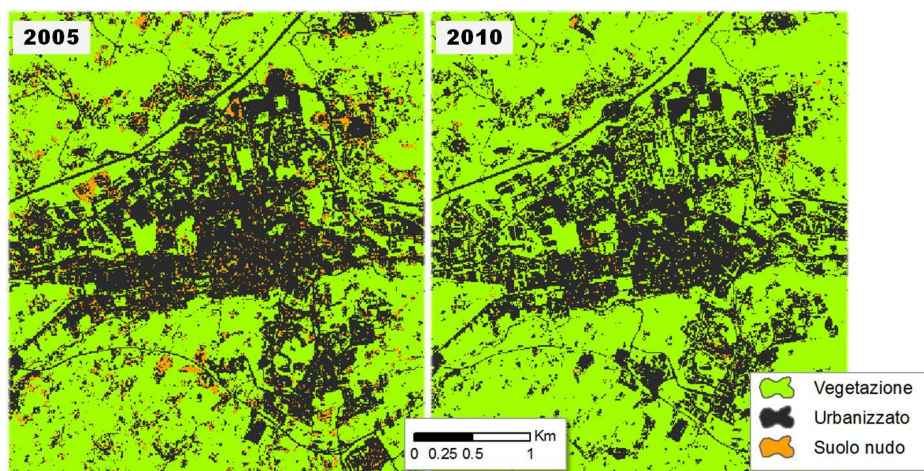


Figura 4 –Mappe sintetiche di LULC per il 2005 (a sinistra) ed il 2010 (a destra).

Successivamente, sempre per le scene ad alta risoluzione del 2005 ed il 2010 è stato calcolato l'indice NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) [1] (Rouse et al., 1973):

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad [1]$$

Tra i vari indici utilizzati per avere informazioni riguardanti la distribuzione spaziale della vegetazione ed il suo monitoraggio, l'NDVI è quello più comunemente usato. Non secondariamente per le sue caratteristiche di stabilità, al fine di condurre confronti temporali, sia stagionali sia annuali, sulla fenologia della vegetazione. Uno dei suoi punti di forza, comune peraltro a tutti gli indici derivati in modo analogo, è proprio legato alla procedura di calcolo attraverso il rapporto tra bande che comporta la riduzione di alcune componenti peggiorative del segnale con effetto moltiplicativo (differenza di illuminazione dei versanti, ombre dovute alla nuvolosità, attenuazione atmosferica, ecc.) presenti in molteplici bande (Huete et al., 2002).

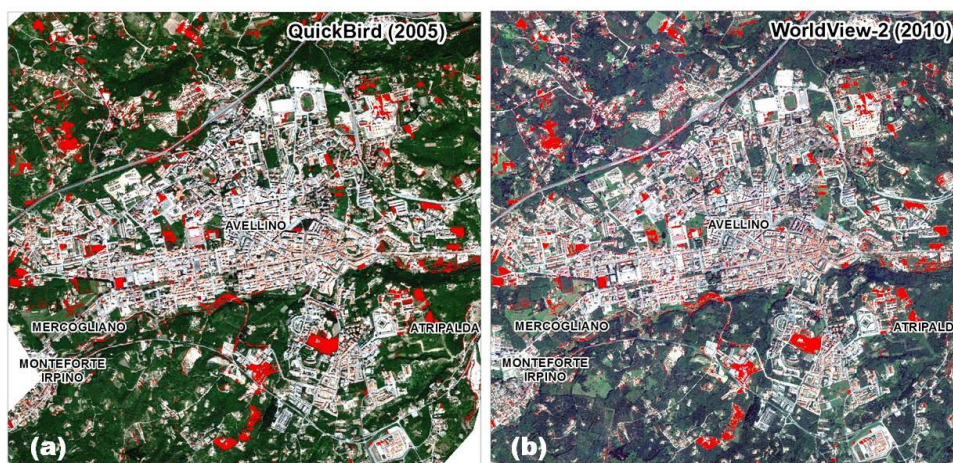


Figura 5 – Variazione dell'NDVI tra il 2005 ed il 2010 (in rosso) sovrapposta alle immagini utilizzate. La variazione indica la trasformazione da copertura vegetata a urbanizzato o suolo nudo. Per la discriminazione successiva della copertura vegetale e dell'impronta dell'urbanizzato, è stata, pertanto, implementata una procedura (Borel, 2010) basata sul confronto dei valori di NDVI relativi alle scene satellitari del 2005 e del 2010 e sull'integrazione di questi ultimi con i risultati della classificazione delle immagini di riferimento. Questa analisi ha permesso di evidenziare le zone rurali nei dintorni dell'area urbana che, negli ultimi anni, hanno subito una trasformazione: si tratta, per lo più, delle cosiddette aree urbanizzate di "frangia", di interfaccia tra lo spazio urbano e rurale (Antrop, 2000; Vizzari, 2011) o a porzioni intercluse in coperture urbane già esistenti (Figura 5). Infine, per analizzare l'impatto dello sviluppo urbano nei confronti delle aree naturali e coltivate presenti nell'intorno del centro abitato di Avellino, è stata utilizzato l'applicativo "Urban Landscape Analysis Tool" (ULAT, <http://clear.uconn.edu/tools/ugat/index.htm>), disponibile come estensione di ESRI ArcGIS. L'applicativo ULAT (Parent, 2009), prendendo in input le sommestate Mappe di LULC multitemporali, ha consentito di classificare l'area urbanizzata in esame in base allo sviluppo temporale nonché ad altre metriche come la densità e l'aggregazione delle classi di copertura del suolo ottenute dalla classificazione delle immagini satellitari ad alta risoluzione.

### Le metriche del paesaggio (*Landscape Metrics*)

Il paesaggio, in accordo con la Convenzione Europea sul Paesaggio (COE, 2000) è una entità viva e dinamica ed una delle maggiori sfide per chi voglia studiarlo ed analizzarlo sta nel quantificarne e comprenderne le dinamiche spaziali e temporali nonché le tendenze che esso mostra. A tal fine, le metriche del paesaggio (*Landscape Metrics*) rappresentano un valido strumento a supporto delle attività di pianificazione e monitoraggio del territorio (Cushman & McGarigal, 2008). In tal senso, il paesaggio è considerato da un punto di vista spaziale come un insieme composito di elementi superficiali (*patch*) categorizzati in base alla tipologia di LULC. La *patch* rappresenta, pertanto, l'unità spaziale fondamentale con cui è possibile descrivere la struttura e la composizione (*pattern*) del paesaggio, nonché valutare l'omogeneità o la diversità tra *patch* limitrofe (Forman, 1995).

Al fine di valutare e comprendere le dinamiche spazio-temporali dei LULC, si sono utilizzate le mappe tematiche prodotte mediante le procedure precedentemente descritte (risoluzione spaziale di 30 m per le mappe di LULC dal 1954 al 2004; 2,40 m per quelle del 2005 e 2010). Per come già analizzate per i precedenti periodi temporali (Fichera et al., 2011-b e 2011-c), facendo ricorso al pacchetto software FRAGSTATS 3.3 (McGarigal et al., 2002), sono state selezionate e calcolate le seguenti metriche: *Patch Density* (PD); *Largest Patch Index* (LPI); *Contagion* (CONTAG); *Simpson Diversity Index* (SIDI). Ricorrendo all'approccio di tipo "Landscape-level", le metriche in FRAGSTATS sono calcolate ed integrate su tutti i tipi di *patch* o classi e sulla intera estensione del



paesaggio. Queste metriche possono essere interpretate, in senso più ampio, come indici di eterogeneità del paesaggio, perché misurano la sua struttura complessiva.

La metrica PD fornisce una misura estensiva della suddivisione o della frammentazione delle tipologie di *patch*. In particolare, dall'analisi di PD [2] è possibile avere informazioni circa l'interazione tra lo sviluppo delle aree urbane (*urban sprawl*) e la frammentazione delle aree rurali. Essa consente di mettere in evidenza i processi di frammentazione del territorio (Botequilha Leitão et al., 2006) e viene utilizzata quando si effettuano confronti tra le caratteristiche del paesaggio in periodi temporali differenti:

$$PD = \frac{n_i}{A} \cdot 10000 \cdot 100 \quad [2]$$

dove:

$n_i$  = numero di patch per ciascuna classe  $i$ ;

A = Area di analisi.

La metrica LPI [3], invece, fornisce una misura della preponderanza di una certa tipologia di LULC e viene utilizzata per una analisi congiunta con la precedente PD:

$$LPI = \frac{\max(a_{ij})}{A} \cdot 100 \quad [3]$$

dove:

$a_{ij}$  = area in m<sup>2</sup> della patch  $ij$ .

CONTAG [4] fornisce una misura del grado di distribuzione spaziale di ciascuna tipologia di classe, tenendo conto se le *patch* si presentano raggruppate o disperse in parecchi frammenti di piccole dimensioni. Inoltre, descrivendo la "tessitura" del territorio analizzato, questo indice è utilizzato per confrontare da un punto di vista spazio-temporale le dinamiche del territorio nei periodi considerati (McGarigal & Marks, 1995; Botequilha Leitão et al., 2006):

$$CONTAG = \left[ 1 + \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^m \left[ P_i \left( \frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) \right] \cdot \left[ \ln(P_i) \left( \frac{g_{ik}}{\sum_{k=1}^m g_{ik}} \right) \right]}{2 \ln(m)} \right] \cdot 100 \quad [4]$$

dove:

$P_i$  = porzione di territorio occupata dalla classe  $i$ -esima;

$g_{ik}$  = numero di contiguità tra pixel delle classi  $i$  e  $k$ ;

$m$  = numero di classi presenti nell'area di analisi.

Infine, la metrica SIDI [5] (Simpson, 1949) è spesso utilizzata in analisi di questo tipo per fornire una descrizione della eterogeneità di *patch* presenti nel paesaggio esaminato, a seguito di cambiamenti spazio-temporali nella distribuzione delle classi di LULC:

$$SIDI = 1 - \sum_{i=1}^m P_i^2 \quad [5]$$

dove:

$m$  = numero di classi di copertura del suolo;

$P_i$  = porzione di territorio occupata dalla  $i$ -esima tipologia di classe.

Per il calcolo delle metriche sull'intera area di interesse, si è fatto ricorso all'approccio a "finestre mobili" (*Moving Window Analysis*, MWA): in ogni finestra viene calcolato il valore di ciascuna metrica ed assegnato al pixel centrale. Le mappe così ottenute mostrano la distribuzione spaziale della struttura e della tessitura delle patch in cui è suddiviso il territorio (Berry, 2001). Di seguito sono riportate le mappe delle metriche CONTAG (Figura 6) e SIDI (Figura 7) calcolate per l'area di studio, mediante il suddetto approccio utilizzando finestre di forma e di dimensioni pari a 10 pixel.

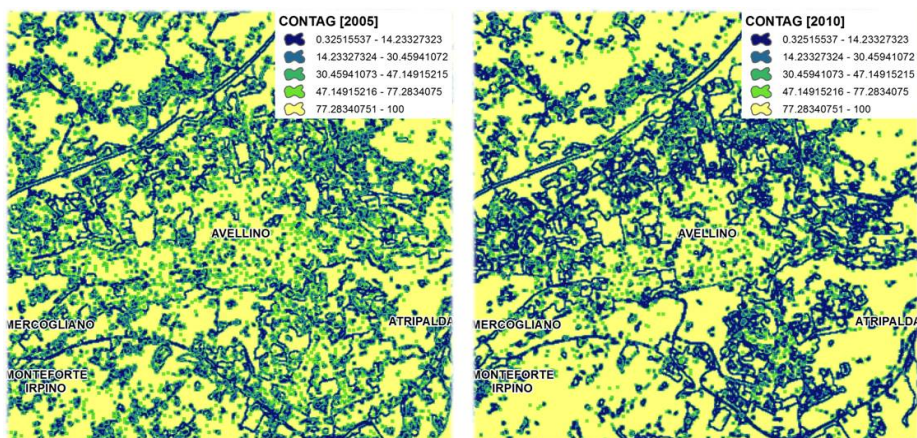


Figura 6 –Metrica CONTAG calcolata con MWA per l'area di interesse.

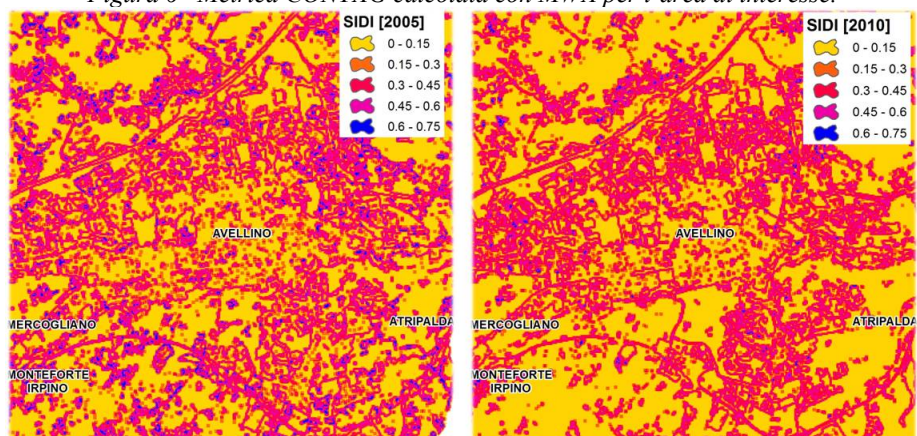


Figura 7 –Metrica SIDI calcolata con MWA per l'area di interesse.

## Risultati e discussione

I risultati ottenuti mediante le elaborazioni precedentemente descritte indicano che il processo di urbanizzazione ha sostanzialmente modificato l'uso del suolo nell'area di studio, con una significativa trasformazione nelle tipologie di copertura tra il 1954 ed il 2004, come precedentemente illustrato in Figura 2. La classificazione delle immagini più recenti (2005 e 2010) integrata con l'analisi mediante *landscape metrics* ha, invece, evidenziato una fase di relativa stasi e consolidamento nelle trasformazioni nel LULC. In Figura 8 è riportata la Mappa dei cambiamenti nel LULC avvenuti nel corso del secondo periodo di analisi (2005-2010).

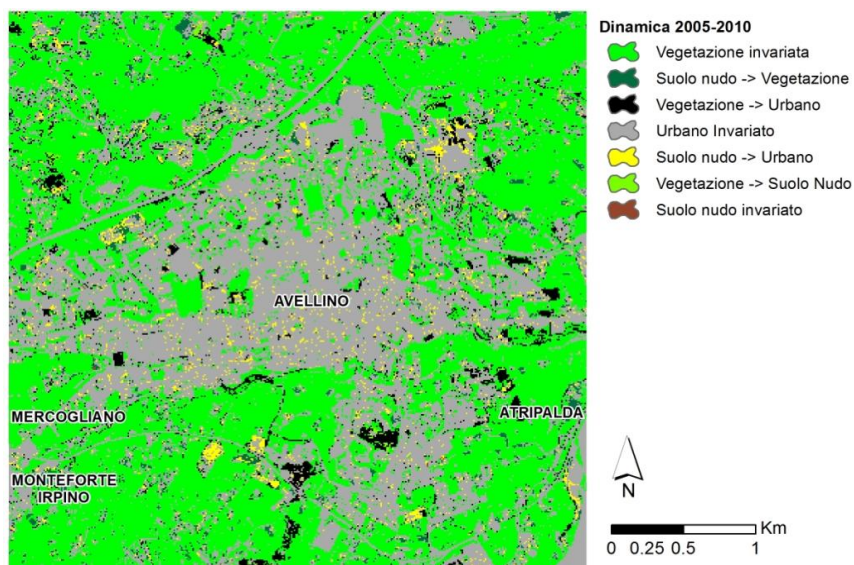


Figura 8 – Mappa dei cambiamenti nel LULC nel corso del periodo 2005-2010.

Considerando tutti i risultati ottenuti, il periodo dal 1985 ad oggi è stato caratterizzato soprattutto da una significativa diffusione dell'urbanizzato in aree periferiche rispetto all'insediamento principale di Avellino, per effetto della realizzazione post-sisma di nuovi quartieri residenziali e della nuova area industriale a NE della città. Questo fenomeno ha prodotto ulteriore "attrito" (*attrition*) tra le aree urbanizzate in espansione e le residue zone agricole intorno alla città, con un ulteriore consumo di suolo a discapito delle aree rurali. Queste ultime rappresentavano un tempo la classe di LULC più ampia, con una maggiore concentrazione nell'area pianeggiante al centro della Conca di Avellino e non poche compenetrazioni nelle aree urbane della zona. Una conferma di questa perdita di suolo agricolo si può ricavare indirettamente anche dai dati contenuti nei Censimenti Generali dell'Agricoltura dell'ISTAT (1990 e 2000): le coltivazioni permanenti ed i seminativi hanno registrato nel decennio un decremento pari al 13% ed al 55%, rispettivamente (Figura 9).



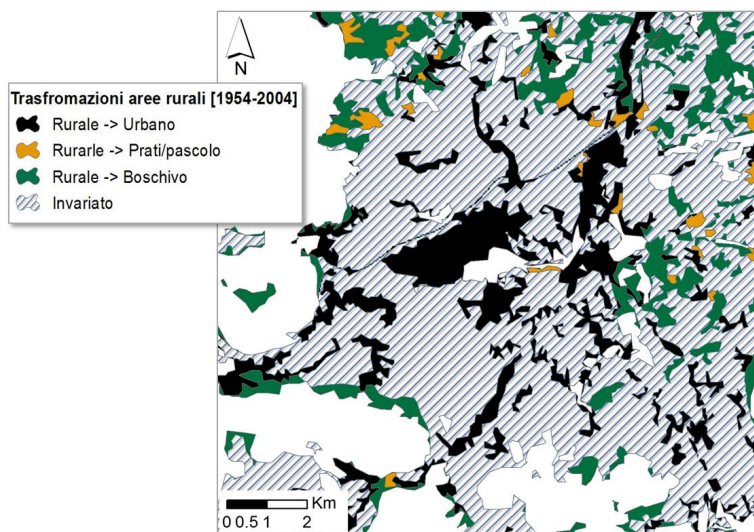


Figura 9 – Dinamiche di trasformazione delle aree rurali nel cinquantennio 1954-2004.

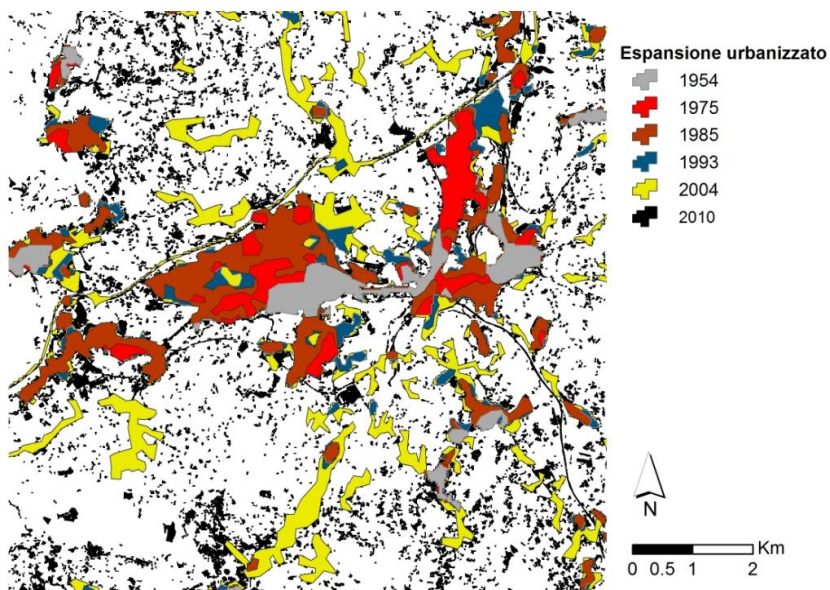


Figura 10 – Espansione dell'urbanizzato nella Conca di Avellino nel periodo 1954÷2010.

L'urbanizzato rappresenta, invece, la tipologia di LULC col maggior tasso di crescita nell'ultimo cinquantennio (Figura 10): in particolare, il maggior incremento si è registrato proprio nel periodo successivo al 1985, in coincidenza col processo di ricostruzione avviato dopo il terremoto. Più in dettaglio, questo tipo di trasformazioni può essere spiegato osservando che la vicinanza di Avellino ad altri centri abitati di medie dimensioni (soprattutto Atripalda, Mercogliano e Monteforte Irpino, cittadine con più di 10.000 abitanti) ha di fatto dato luogo ad un continuum urbano tra il capoluogo e gli insediamenti limitrofi.

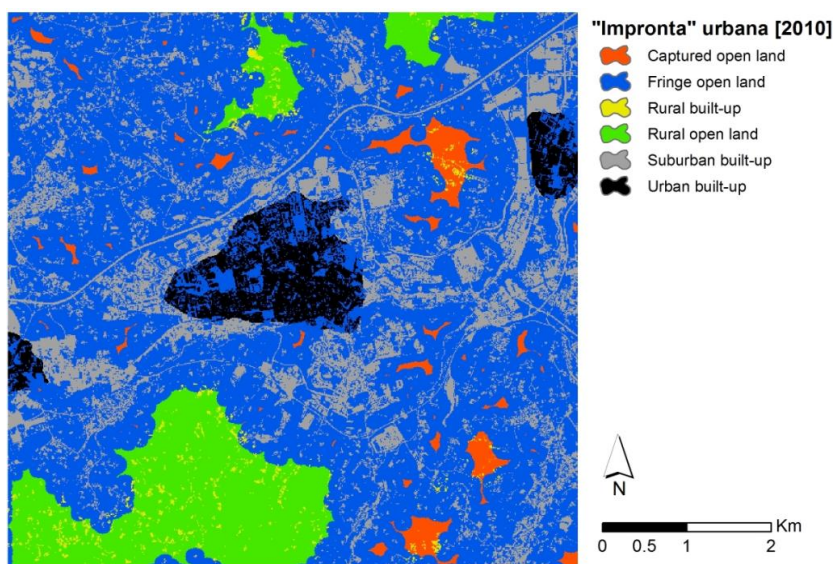


Figura 11 – Struttura dell'urbanizzato nell'area di studio (2010).

Questa interazione, favorita dalla presenza di importanti arterie di comunicazione (A16 e S.S.7bis) ha contribuito al processo di *urban sprawl* che ha interessato l'area e i cui effetti sono stati evidenziati dall'analisi condotta mediante le metriche del paesaggio e le analisi spaziali di tipo GIS. In particolare, analizzando le mappe tematiche prodotte mediante l'applicativo ULAT per il periodo 2005-2010 (Figura 11) è possibile riscontrare la frammentazione del territorio naturale (*open land*) per effetto della recente edificazione in area suburbane (*suburban built-up*). Questo processo espansivo, si è verificato ovviamente a spese delle aree naturali o coltivate, come precedentemente evidenziato.

Un altro fattore che influisce sull'espansione urbana è la dinamica demografica (Bhatta, 2009). È possibile confrontare l'estensione superficiale delle aree urbane con i dati statistici della popolazione, individuando una relazione tra l'espansione spaziale delle città e le dinamiche di incremento e decremento degli abitanti. Considerando, pertanto, i dati ISTAT l'intera area della Conca di Avellino, si osserva un incremento della popolazione del 14% tra il 1971 ed il 2001 (ultimo Censimento ISTAT al momento disponibile), mentre la copertura del suolo urbanizzato ha registrato un incremento del 75% tra il 1975 ed il 2004 (periodo di analisi tramite mappe di LULC più prossimo al dato censuario summenzionato). Se, invece, si restringe tale analisi alla sola area circostante Avellino, la spinta della crescita della popolazione è più evidente: gli abitanti erano 36.965 nel 1951, 41.825 nel 1961, 52.382 nel 1971, 56.862 nel 1981. Poi, tra il 1981 ed il 2001 si osserva un trend discendente (55.662 abitanti nel 1991 e 52.703 nel 2001), dovuto al trasferimento di molte persone dal capoluogo ai comuni limitrofi, i quali hanno registrato un incremento della popolazione: ad esempio, Mercogliano e Monteforte Irpino hanno avuto negli ultimi anni tassi di crescita maggiori rispetto ad Avellino.

L'espansione delle aree urbane è anche connessa alla crescita economica (Almeida et al., 2005), dal momento che è possibile mettere in relazione l'espansione delle aree urbane con il numero totale delle persone che lavorano in una zona (dal cui incremento discende la richiesta di nuove abitazioni e quindi la trasformazione di aree). Incrociando il dato dei lavoratori (ricavato dai Censimenti ISTAT dell'Industria e dei Servizi 1971, 1981, 1991 e - ultimo disponibile - 2001) con lo strato informativo dell'espansione urbana, emerge come i due fenomeni abbiano manifestato tassi di crescita simili. In questo quadro complessivo di trasformazioni, non è certamente estranea la

spinta fornita dalle leggi varate dopo il sisma dell'80, che hanno rappresentato la cornice normativa all'interno della quale sono stati prodotti gli strumenti urbanistici del P.I.C.A. e del P.U.C. Questi hanno fornito le indicazioni sulle nuove aree da destinare ad uso residenziale, artigianale o industriale.

### **Conclusioni e sviluppi futuri**

Il presente articolo fornisce la descrizione di una parte specifica di una più ampia linea di ricerca, riguardante l'analisi e la comprensione dei fenomeni di trasformazione del territorio nelle aree di frangia urbano-rurale. I risultati qui ottenuti confermano la capacità delle tecniche di TLR di fornire strumenti utili ed efficaci per comprendere le dinamiche del cambiamento nell'uso del suolo, mediante dettagliate analisi spazio-temporali. Inoltre, il ricorso alle metriche del paesaggio ha consentito di mettere in evidenza determinati processi di trasformazione del territorio. In questo senso, il ricorso integrato alle suddette tecniche si dimostra di fondamentale importanza nel fornire supporto alle politiche di pianificazione, gestione e monitoraggio del territorio, specie quando si voglia tener conto di uno sviluppo sostenibile dello stesso (Zhang & Guindon, 2006). Infine, la tecnologia GIS ha permesso di gestire in modo integrato le informazioni spaziali dell'area di interesse, costituendo altresì la base per strumenti di verifica dell'efficacia delle politiche di pianificazione nonché per la previsione dei trend futuri di trasformazione (Hardin et al., 2007).

### **Ringraziamenti**

Si ringrazia la DigitalGlobe Inc. (<http://www.digitalglobe.com>) per aver gentilmente fornito nell'ambito dell'iniziativa "DigitalGlobe 8-Band Research Challenge" la scena WorldView-2 di Avellino utilizzata nel corso delle attività di ricerca qui descritte.

### **Bibliografia e riferimenti**

- Almeida, C.M., Monteiro, A.M.V., Mara, G., Soares-Filho, B.S., Cerquera, G.C., Pennachin, C.S.L. & Batty, M. (2005) GIS and remote sensing as tools for the simulation of urban land-use change. *International Journal of Remote Sensing*, 26, 759-774.
- Antrop, M. (2002), Changing patterns in the urbanized countryside of Western Europe, *Landscape Ecology*, 15(3), 257-270.
- Antrop, M. (2004), Landscape change and the urbanization process in Europe, *Landscape and Urban Planning*, 67, 9-26.
- Berry, J.K. (2001), Map analysis. Procedures and applications in GIS modelling. <http://www.innovativegis.com/basis/MapAnalysis/Topic9/Topic9.htm>,
- Bhatta, B. (2009), Analysis of urban growth pattern using remote sensing and GIS: a case study of Kolkata, India. *International Journal of Remote Sensing*, 30:18, 4733-4746.
- Borel C.C. (2010), Vegetative canopy parameter retrieval using 8-band data. *DigitalGlobe 8-Band Research Challenge*
- Botequilha Leitão, A., Miller, J., Ahern, J. & McGarigal, K. (2006), Measuring Landscapes: A Planner's Handbook. Island Press, Washington DC
- Council of Europe (COE) (2000), European Landscape Convention., Florence, 20.X.2000. (<http://conventions.coe.int/Treaty/EN/Treaties/Html/176.htm>).
- Cushman, S.A. & K. McGarigal, M.C. Neel (2008), Parsimony in landscape metrics: Strength, universality, and consistency, *Ecological Indicators*, 8, 691-703.
- Dewan, A. M. & Yamaguchi, Y. (2009), Using remote sensing and GIS to detect and monitor land use and land cover change in Dhaka Metropolitan of Bangladesh during 1960-2005, *Environ. Monit. Assess.* 150, 237-249.
- EEA (European Environment Agency) (2006), Urban sprawl in Europe: The ignored challenge. *EEA Report No. 10/2006*, Copenhagen, Denmark,
- Fichera C. R., Modica, G. & Pollino, M. (2010), Characterizing land cover change using multi-temporal remote sensed imagery and landscape metrics. In: Las Casas, G., Pontrandolfi, P.,



- Murgante, B. (Eds.), *Informatica e Pianificazione Urbana e Territoriale - Atti della Sesta Conferenza Nazionale INPUT 2010*, Potenza, 2010.
- Fichera C. R., Modica, G. & Pollino, M. (2011-a), GIS and Remote Sensing to Study Urban-Rural Transformation During a Fifty-Year Period. In: B. Murgante *et al.* (Eds.), *ICCSA 2011, Part I, LNCS 6782*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 237-252.
- Fichera C. R., Modica, G. & Pollino, M. (2011-b), Integration of satellite Remote Sensing techniques and landscape metrics to characterize land cover change and dynamics. In (eds. G. Borroso, S. Bertazzon, A. Favretto, B. Murgante & C. M. Torre) "Geographic Information Analysis for Sustainable Development and Economic Planning: New Technologies", IGI Global, *in press*
- Fichera C. R., Modica, G. & Pollino, M. (2011-c), Land Cover classification and change-detection analysis using multi-temporal remote sensed imagery and landscape metrics, *Italian Journal of Remote Sensing*, *in press*
- Forman, R.T.T. (1995) *Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions*. Cambridge University Press, Cambridge, UK
- Hardin, P.J., Jackson, M.W. & Otterstrom, S.M. (2007), Mapping, Measuring, and Modeling Urban Growth. In: Jensen, R.R., Gatrell, J.D., McLean, D. (eds.) *Geo-Spatial Technologies in Urban Environments*. Springer Berlin Heidelberg
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E.P., Gao, X., & Ferreira, L.G. (2002), Overview of the Radiometric and Biophysical Performance of the MODIS Vegetation Indices. *Remote Sensing of Environment*, 83: 195-213
- McGarigal, K. & Marks, B.J. (1995), FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. USDA, Forest Service, Pacific Northwest Research Station
- McGarigal, K., S.A. Cushman, M.C. Neel & Ene, E. (2002), FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for categorical maps. *Computer software program produced by the authors* [<http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>]
- Murgante, B. & M. Danese (2001), Urban versus Rural: the decrease of agricultural areas and the development of urban zones analyzed with spatial statistics. *International Journal of Agricultural and Environmental Information Systems*, 2 (2): 16-28
- Parent J.R. (2009), Urban Landscape Analysis Tool. <http://clear.uconn.edu/tools/ugat/index.htm>
- Petit, C. C. & Lambin, E. F. (2001) Integration of multi-source remote sensing data for land cover change detection. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.*, 15: 8, 785-803.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., & Deering D.W. (1973), Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Proceedings of the Third ERTS Symposium (1973)*. Washington D.C., NASA SP-351: 309-317
- Simpson, E.H. (1949), Measurement of diversity. *Nature*, 163-688
- Singh, A. (1989), Digital Change Detection Techniques using Remotely Sensed Data. *Int. J. Remote Sens.*, 10, 989-1003.
- Updike T., Comp C. (2010), Radiometric use of WorldView-2 imagery. Technical Note, DigitalGlobe Inc.
- Vizzari, M. (2011), Spatial modelling of potential landscape quality. *Appl. Geogr.* 31 (1), 108-118
- Zhang, Y. & Guindon, B. (2006) Using satellite remote sensing to survey transport-related urban sustainability: Part 1: Methodologies for indicator quantification. *Int. J. Appl. Earth Obs.* 2006, 8(3), 149-164.



## **Una SDI tematica per la protezione della natura: il progetto Nature-SDIplus**

Andrea Fiduccia (\*), Roberto Di Pace (\*\*)

(\*) Intergraph Italia LLC, Via Sante Bargellini 4, 00157 Roma  
Tel. +39.06.43588889, Fax: +39 06 43254376; andrea.fiduccia@intergraph.com

(\*\*) Intergraph Italia LLC, Via Sante Bargellini 4, 00157 Roma  
Tel. +39.06.43588889; Fax: +39 06 43254376; roberto.dipace@intergraph.com

### **Sommario**

NATURE-SDIplus è un progetto eContentPlus che ha coinvolto 30 partner coordinati da GISIG (partner di Intergraph Italia LLC con sede a Genova) finalizzato all'armonizzazione ed all'interoperabilità in ambito INSPIRE dei dataset relativi alla Conservazione della Natura. NATURE-SDIplus ha contribuito all'INSPIRE Data Specification Testing Process per il tema Protected Sites dell'Annex I e ha proceduto alla verifica del Data Model per i temi Bio-Geographical Regions, Habitats e Biotopes And Species Distribution dell'Annex II (per i quali è Reference Project). Intergraph Italia LLC è Main Technological Partner ed è responsabile del WP4 "Creation of the Nature-SDIplus portal".

NATURE-SDIplus si propone di attivare un processo di armonizzazione dei datasets sui predetti data themes mediante il coinvolgimento di data providers istituzionali.

Il processo di armonizzazione è basato su:

- lo sviluppo di uno specifico Profilo di Metadati come definito dall'INSPIRE MetaData Drafting Team basato sullo standard Iso 19115/119; tale profilo sarà pubblicato come documento CEN alla fine del progetto;
- lo sviluppo di Common Data Models per i quattro predetti datasets;
- lo sviluppo di un Thesaurus di supporto alla modellazione di dati e metadati ambientali in accordo agli standard CEN e ISO per la terminologia della GI;
- la realizzazione di un Geoportale per pubblicare mediante web services i dati armonizzati valorizzando il coinvolgimento dei data providers istituzionali.

Il processo di armonizzazione dei dati si serve di matching table per stabilire relazioni tra il modello dati in uso da parte dei Data Provider ed i Common Data Model del Progetto NATURE-SDIplus.

Gli strumenti per l'armonizzazione dei dati consentono ai Data Provider di rimodellare i loro dati secondo i Common Data Model del Progetto NATURE-SDIplus. Tali strumenti, software commerciali ed Open Source sono messi a disposizione dai Partner Tecnologici del Progetto.

Il Catalogo NATURE-SDIplus segue il modello del Catalogo Federato. La ricerca parte dal Catalogo Centrale e si estende ai Cataloghi della Federazione.

Il Geoportale NATURE-SDIplus offre il servizio di pubblicazione per i Data Provider che non dispongono di un nodo di pubblicazione.

Il Profilo NATURE-SDIplus dei Metadati è stato progettato per sfruttare il Thesaurus Framework che consente una maggiore efficienza di ricerca al web service di catalogo ed al suo client web.

Il Thesaurus Framework sfrutta alcuni Knowledge Organization Systems già esistenti nel settore disciplinare della conservazione della natura.

Si tratta di un ambiente dinamico nel quale si può aggiungere od estendere un nuovo thesaurus oppure stabilire link tra due thesauri esistenti. È uno strumento molto potente che soddisfa a

requisiti di “openness”, modularità, interoperabilità e usabilità. La codifica in SKOS è uno dei fattori di successo di questo tool.

A livello di Geoportale, il Thesaurus Framework consente di affrontare due problemi critici relativi al multilinguismo e alla “multiculturalità”: l’indicizzazione dei dati e la ricerca degli stessi.

A partire dal Thesaurus Framework sono stati sviluppati specifici web services per affrontare i due problemi appena citati.

## **Abstract**

Nature-SDI*plus* is a project submitted by a consortium of 30 partners coordinated by GISIG (an Intergraph’s partner located in Genoa, Italy) in the frame of the 2007 eContentPlus call for proposal. Nature-SDI*plus* Network aims, through state-of-the-art methodologies and best practice examples, to improve harmonization of national datasets and make them more accessible and exploitable.

The project, officially started at October, 1st 2009, will consider and will contribute to the INSPIRE development process, in particular regarding Data Specification of the INSPIRE Data Themes related to Nature Conservation. About this link with INSPIRE, the project has provided its contribution to INSPIRE Data Specification testing, regarding the Annex I data theme “Protected Sites”, one of the proposed themes in the project.

The NATURE-SDI*plus* work plan considers that regarding the Protected Sites data theme, the project will verify the Data Model proposed by the INSPIRE Drafting Team, while for the other data themes included in the Annex III of INSPIRE (Bio-geographical regions, Habitats and biotopes and Species distribution), the project has been invited to participate to the definition of the INSPIRE data models, becoming a reference project for these themes.

Intergraph Italia LLC is the main technological partner, having the leadership of the WP4 “Creation of the Nature-SDI*plus* portal”.

The project infrastructure plans to have a set of geo-portals at national levels and a central geo-portal.

The national geo-portal represents the gate to address the information exposed by the data providers located in that country. The information are published and documented by the availability of the national catalogue in which each data provider is able to publish its own information.

The Nature-SDI*plus* geo-portal is the European gate on which the national geo-portals are linked and provide the information on the central catalogue.

The Thesaurus Framework contains some of the well known existing “knowledge organization systems” for Nature Conservation. It is a dynamic environment where a new thesaurus can be added or further extended and two different thesauri may be interlinked. The outcome is a powerful tool satisfying the requirements of openness, modularity, linking, and exploitability. Linked data best practices combined with the thesaurus encoded in SKOS has allowed to meet these requirements. Moreover the adoption of linked data best practices enlarges the visibility of the Thesaurus Framework for Nature Conservation both within and outside of the Nature-SDI*plus* consortium pushing it as an example of best practice in the definition and reuse of GI thesauri.

The framework is planned to be exploited in the geo-portal to support in the management of two important multilingual/multicultural issues in the use of GI data: data indexing and publication and data search and retrieval.

A set of web services has been designed and developed in order to implements these two issues: the metadata web editor exploit the Thesaurus Framework web services to select and to validate the information in metadata keywords editing process while the user interface of the catalogue client exploit these functionalities to facilitate the data search and retrieval by performing auto-compilation proposing to the users the search text during his free text digitizing.

### Obiettivi del Progetto Nature-SDIplus

Il Progetto è finalizzato a costituire un Best Practice Network finalizzato ad un'azione di clustering sui seguenti data themes degli Annex I e III della direttiva INSPIRE relativi a problematiche di conservazione della natura:

- Aree Naturali Protette (Protected Sites) - Annex I;
- Regioni Biogeografiche (Biogeographical Regions) – Annex III;
- Habitat e Biotopi (Habitats and Biotopes) - Annex III;
- Distribuzione delle Specie (Species Distribution) - Annex III.

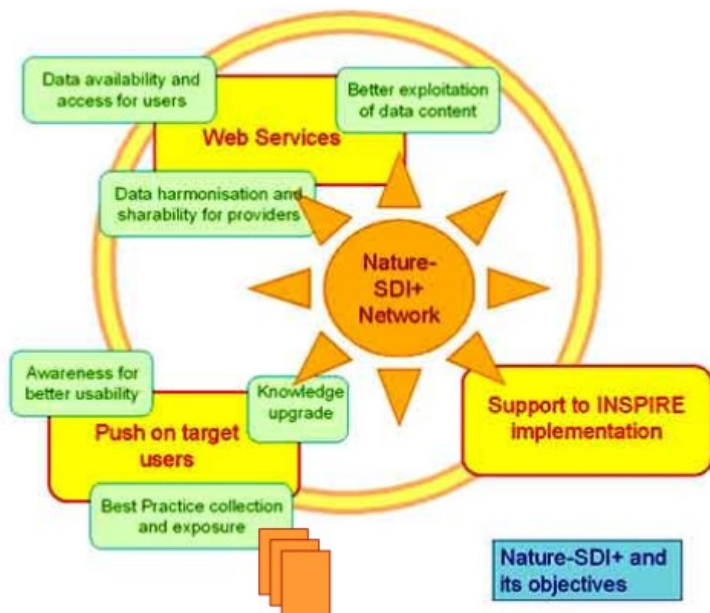


Figura 1 – Obiettivi del Network NATURE-SDIplus.

NATURE-SDIplus si propone di attivare un processo di armonizzazione dei datasets sui predetti data themes mediante il coinvolgimento di data providers istituzionali.

Il processo di armonizzazione è basato su:

- lo sviluppo di uno specifico Profilo di Metadati come definito dall'INSPIRE MetaData Drafting Team basato sullo standard Iso 19115/119; tale profilo sarà pubblicato come documento CEN alla fine del progetto;
- lo sviluppo di Common Data Models per i quattro predetti datasets;
- lo sviluppo di un Thesaurus di supporto alla modellazione di dati e metadati ambientali in accordo agli standard CEN e ISO per la terminologia della GI;
- la realizzazione di un Geoportale per pubblicare mediante web services i dati armonizzati valorizzando il coinvolgimento dei data providers istituzionali.

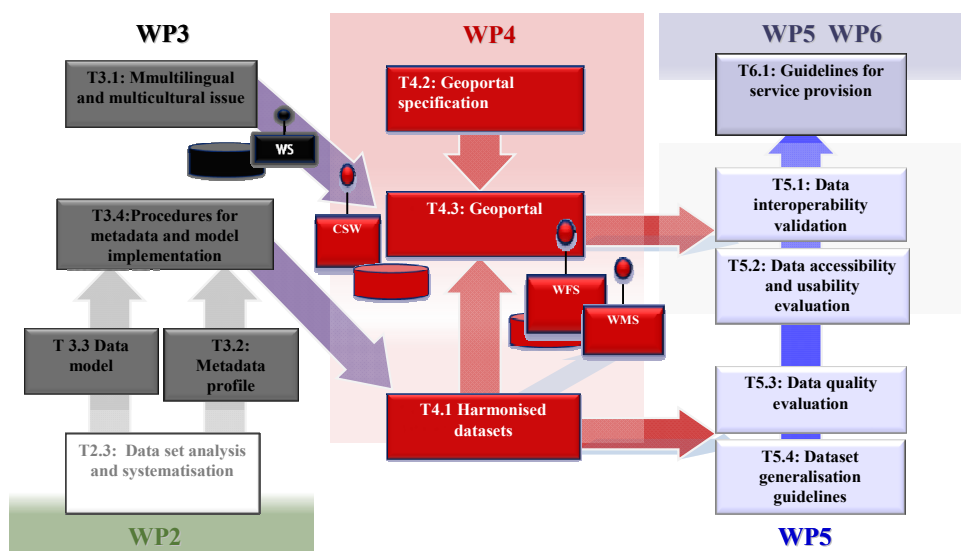


Figura 2 – Progetto NATURE-SDIplus i workpackage e le loro relazioni.

Il Consorzio del Progetto NATURE-SDIplus opera in stretto contatto con gli esperti dei Drafting Team INSPIRE assicurando così un'azione di supporto alla Direttiva.

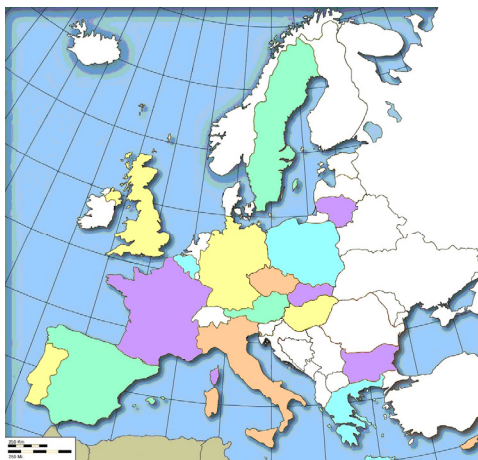


Figura 3 – Copertura territoriale del Consorzio NATURE-SDIplus.

I soggetti che partecipano al Network NATURE-SDIplus possono essere classificati come:

- Data Provider - sono i soggetti che mettono a disposizione i loro dati armonizzati secondo il modello NATURE-SDIplus ed esposti come web services standard;
- Service Provider – sono i partner tecnologici che pubblicano i dati mediante geoportali rendendoli disponibili agli utenti finali.

Gli utenti finali accedono ai servizi di catalogo e di data sharing attraverso i geoportali “nazionali” ed il Geoportale Principale del Progetto.



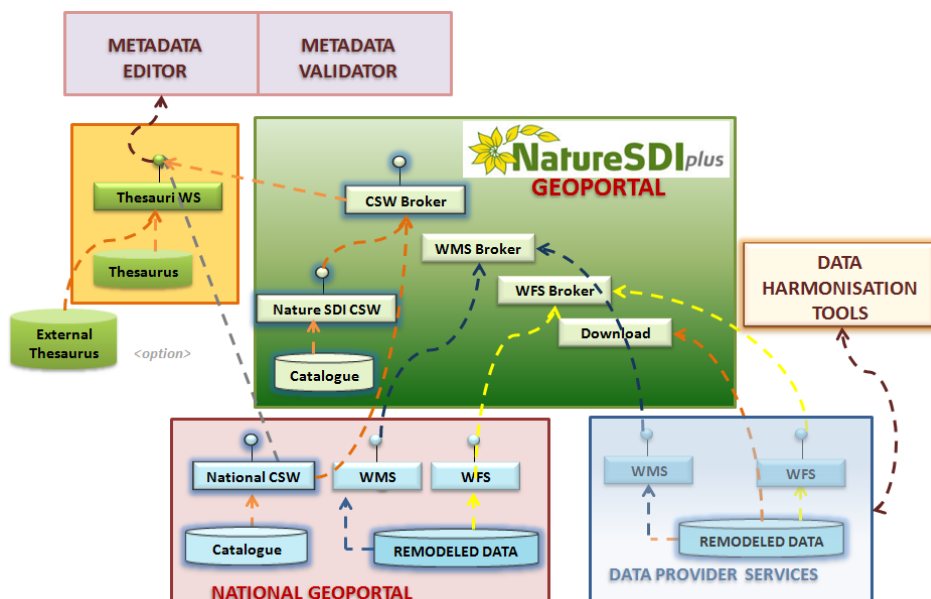


Figura 4 – Architettura della SDI NATURE-SDIplus.

Due casi d'uso descrivono l'interazione dei data providers e degli utenti con l'infrastruttura:

- la pubblicazione dei dati da parte dei Data Provider;
- la ricerca (discovery), visualizzazione (view) e download dei dati da parte degli utenti.

I Data Provider sono supportati nella pubblicazione dei loro dati da un insieme di strumenti e servizi offerti dall'infrastruttura:

- Strumenti per l'armonizzazione dei dati;
- Metadata Editor;
- Servizi di framework del Thesaurus;
- Strumenti per la pubblicazione dei web service.

Il workflow di pubblicazione da parte di un Data Provider è il seguente:

- compilazione del metadato secondo il Profilo NATURE-SDIplus;
- rimodellazione del dato secondo il Common Data Model definito da INSPIRE e dai Data Model NATURE-SDIplus;
- pubblicazione del metadato nel catalogo "Nazionale" o Centrale contattando l'amministratore di sistema del Geoportale scelto;
- pubblicazione del dato mediante un web service standard (WMS);
- pubblicazione del dato nel download service in GML (secondo gli Intellectual Property Rights propri del Data Provider).

Il Catalogo NATURE-SDIplus segue il modello del Catalogo Federato. La ricerca parte dal Catalogo Centrale e si estende ai Cataloghi della Federazione.

Il Geoportale NATURE-SDIplus offre il servizio di pubblicazione per i Data Provider che non dispongono di un nodo di pubblicazione.

## Strumenti e procedure per l'armonizzazione dei dati e dei metadati

Il processo di armonizzazione dei dati si serve di matching table per stabilire relazioni tra il modello dati in uso da parte dei Data Provider ed i Common Data Model del Progetto NATURE-SDIplus.

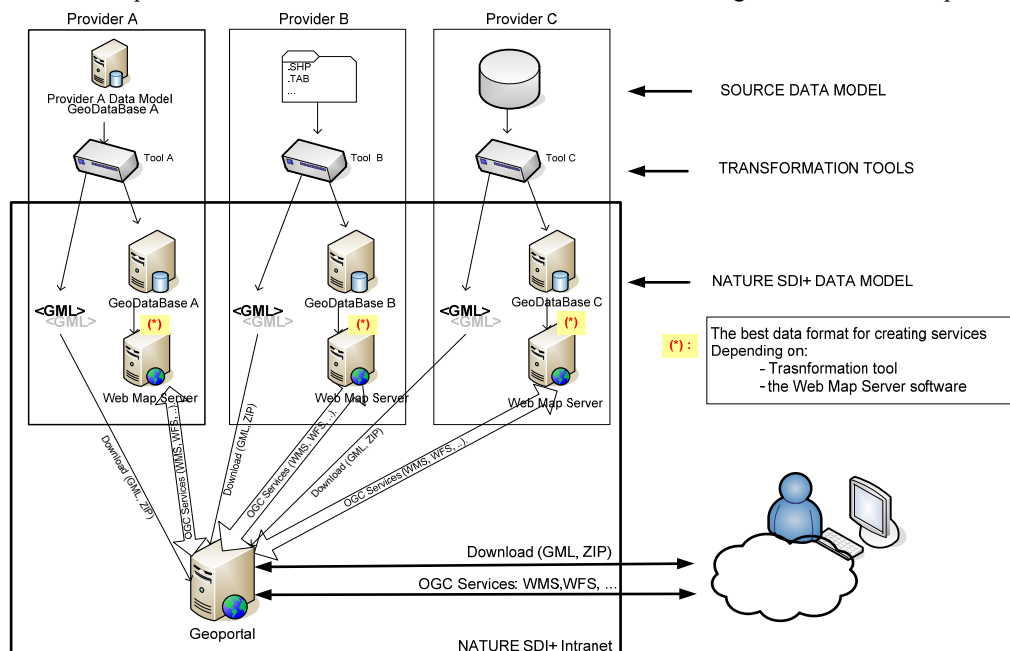


Figura 5 – L'approccio alla rimodellazione del Progetto NATURE-SDIplus.

Gli strumenti per l'armonizzazione dei dati consentono ai Data Provider di rimodellare i loro dati secondo i Common Data Model del Progetto NATURE-SDIplus. Tali strumenti, software commerciali ed Open Source sono messi a disposizione dai Partner Tecnologici del Progetto.

I software sono:

- HALE - HUMBOLDT Alignment editor (<http://community.esdi-humboldt.eu/news/>);
- Intergraph GeoMedia Fusion (<http://www.intergraph.com>);
- Tracasa GIS Converter (<https://encuentra.tracasa.es/productos/TcEngine/WikiPages/TcGisConverter.aspx>);
- Snowflake Go Publisher! (<http://www.snowflakesoftware.co.uk/products/gopublisher/index.htm>).

Il workflow di armonizzazione dei dati è descritto nel seguente diagramma.

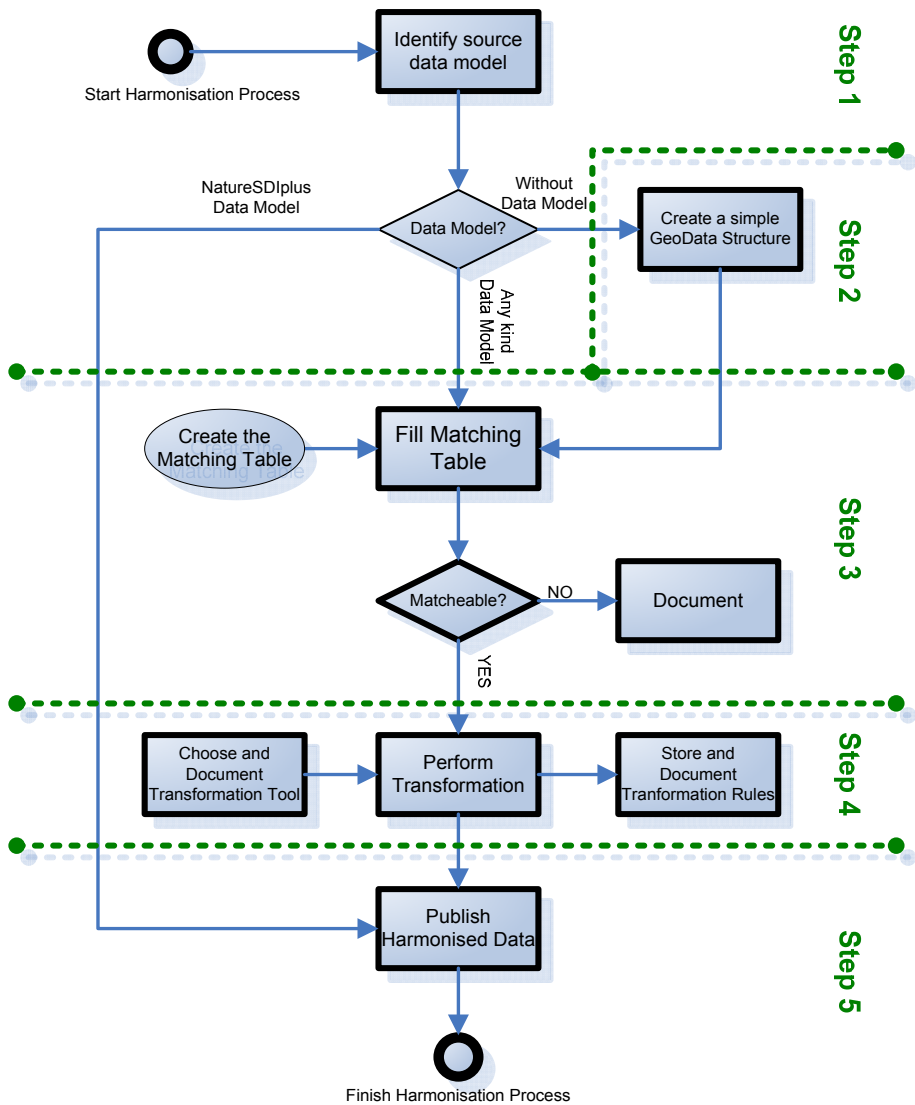


Figura 6 – Il workflow di Data Harmonization del Progetto NATURE-SDIplus.

Un analogo processo viene utilizzato per i metadati.

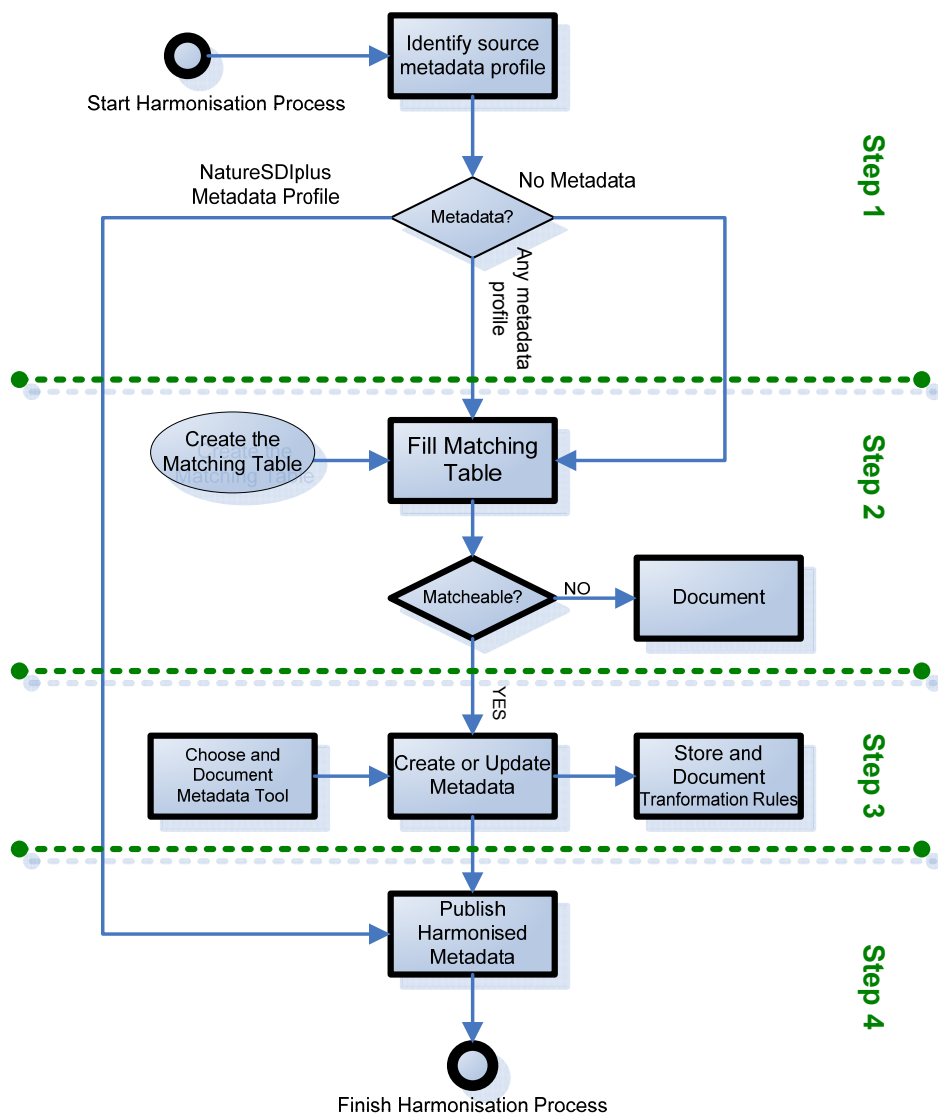


Figura 7 – Il workflow di metadata Harmonization del Progetto NATURE-SDIplus.

Il partner IRD ha messo a disposizione un Web Metadata Editor che consente di gestire diversi profili standard di metadati (sia il profilo “INSPIRE”-base che quello NATURE-SDIplus). Il tool consente di sfruttare il Thesaurus Framework Web Service per editare le keyword da includere nel metadato. Ciò consente un uso corretto delle keyword e un vocabolario condiviso nell’ambito del Progetto.

Il Profilo NATURE-SDIplus dei Metadati è stato, infatti, progettato per sfruttare il Thesaurus Framework che consente una maggiore efficienza di ricerca al web service di catalogo ed al suo client web.

## **Il Thesaurus Framework**

Il Thesaurus Framework sfrutta alcuni Knowledge Organization Systems già esistenti nel settore disciplinare della conservazione della natura.

Si tratta di un ambiente dinamico nel quale si può aggiungere od estendere un nuovo thesaurus oppure stabilire link tra due thesauri esistenti. È uno strumento molto potente che soddisfa a requisiti di “openness”, modularità, interoperabilità e usabilità. La codifica in SKOS è uno dei fattori di successo di questo tool.

A livello di Geoportale, il Thesaurus Framework consente di affrontare due problemi critici relativi al multilinguismo e alla “multiculturalità”: l’indicizzazione dei dati e la ricerca degli stessi.

A partire dal Thesaurus Framework sono stati sviluppati specifici web services per affrontare i due problemi appena citati:

- Il Metadata Web Editor sfrutta un web service del Thesaurus Framework per selezionare e validare le keyword durante la creazione del metadato;
- Il Catalogue Client del Geoportale utilizza un web service del Thesaurus Framework per supportare la ricerca nel Catalogo Federato mediante funzionalità di autocompletamento dei testi nella digitazione dei criteri di ricerca.

## **Gestione ed amministrazione dei Metadati**

I Data Provider compilano i metadati utilizzando il Metadata Web Editor del Progetto o altri software che già utilizzano. Per garantire la correttezza dei metadati pubblicati, a livello di amministratore di Geoportale, il Progetto ha a disposizione dei tool di validazione e caricamento dei metadati nei cataloghi (pubblicati a loro volta come web service). Il Geoportale francese usa un tool fornito da IRD, il Geoportale Centrale utilizza un tool fornito da Intergraph.

Oltre a questi tool, vi è un tool per la verifica di rispondenza dei metadati ai profili INSPIRE e NATURE-SDI*plus* disponibile in libero accesso nel Geoportale Centrale del Progetto.

## **Il sistema di pubblicazione dei web service**

Nell’ambito della SDI del progetto i Data Provider sono liberi di pubblicare i dati rimodellati mediante i loro sistemi di pubblicazione di web service geografici già in uso. I Partner Tecnologici hanno reso disponibili vari software per la pubblicazione di web service WMS e WFS:

- GeoNetworks;
- Intergraph SDI Pro;
- Snowflakes Go Publisher!;
- MDWeb.

## **Il Geoportale “Centrale”**

La SDI di NATURE-SDI*plus* prevede sia Geoportali Nazionali che un Geoportale “Centrale”. Ogni Geoportale Nazionale è il punto di accesso per le informazioni pubblicate dai Data Provider della specifica nazione. Le metainformazioni sui dati pubblicati a livello di singola nazione sono contenute nel rispettivo Catalogo Nazionale.

Il Geoportale Centrale NATURE-SDI*plus* – ospitato presso la server farm di Intergraph Italia LLC - è il punto di accesso a livello europeo ai dati pubblicati nell’ambito del Progetto ed offre le funzionalità “infrastrutturali” del suo Catalogo. Ad esso sono collegati i Geoportali Nazionali. Come già detto, il Geoportale Centrale NATURE-SDI*plus* offre il servizio di pubblicazione dei dati armonizzati per i Data Provider che non dispongono di un nodo di pubblicazione. Il Geoportale Centrale è stato realizzato utilizzando la tecnologia GeoMedia SDI Portal e GeoMedia WebMap della Intergraph Corporation.

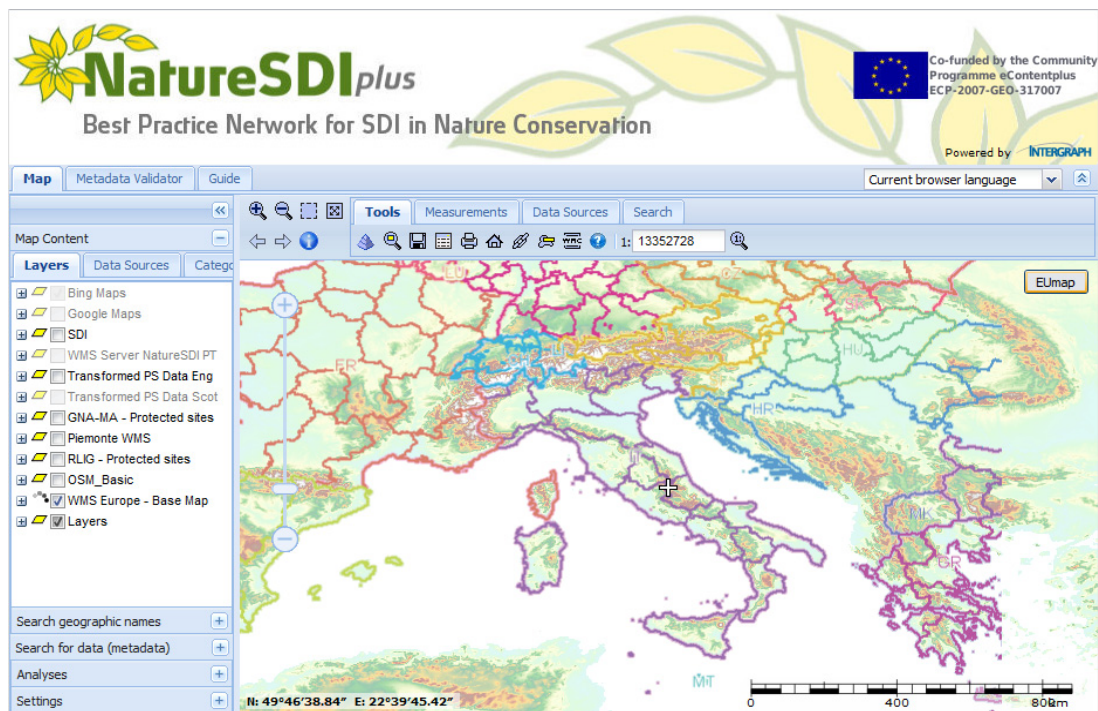


Figura 8 – L'interfaccia del Geoportale Centrale NATURE-SDIplus.

L'interfaccia del Geoportale Centrale NATURE-SDIplus vede a sinistra i comandi per sfruttare le funzionalità del Catalogo dell'infrastruttura del Progetto cioè le funzionalità di interrogazione del Catalogo. L'utente può utilizzare la ricerca a testo libero.

Una volta premuto il pulsante di attivazione della ricerca questa viene operata sui metadati del Catalogo centrale e di quelli federati.

Mentre l'utente digita la parola da cercare la funzionalità di autocompletamento dei testi, sfruttando il web service del Thesaurus Framework, suggerisce le keyword disponibili.



Figura 9 – Tool Bar "Data Source Management".

Il client del Geoportale Centrale NATURE-SDIplus consente di visualizzare web service nell'interfaccia cartografica (funzionalità di "link" di un data source). Vi sono funzionalità per:

- avere l'elenco dei data source "linkati";
- aggiungere un nuovo data source;
- rimuovere un data source precedentemente "linkato".

Il client del Geoportale consente di linkare I seguenti tipi di data source:

- CSW – Catalogue service;
- WMS – Web Map Service;
- WFS – Web Feature Service;



- WFS-G – Gazetteer service;
- Google Maps – servizio per includere in mash up Google Maps nella mappa visualizzata dal client;
- Virtual Earth – servizio per includere in mash up Virtual Earth nella mappa visualizzata dal client.

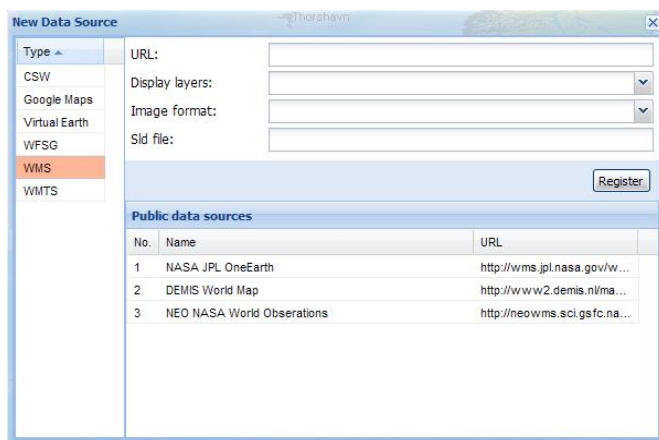


Figura 10 – Interfaccia per l'aggiunta di un data source.

Il lato destro della parte superiore dell'interfaccia include le funzionalità standard di navigazione della mappa di un WebGIS:

- Zoom-in;
- Zoom-out;
- Zoom by rectangle;
- Zoom full extent;
- Previous/next zoom.

Vi sono poi funzionalità per il "Map Content":

- Visibility Scale: funzionalità per definire il range di scala nel quale un layer è visualizzato;
- Context: funzionalità di salvataggio del Map Context per poterlo riutilizzare in una nuova sessione (layer visualizzati, livello di zoom, etc);
- Print: funzionalità di stampa della mappa;
- Trasparency: funzionalità per definire il livello di trasparenza di ogni layer.

Il Geoportale Centrale NATURE-SDIplus dispone di un download service dei dati armonizzati nei data model condivisi in GML (secondo gli Intellectual Property Rights propri del Data Provider).

### Interfaccia Multilingua

L'interfaccia del Geoportale supporta il multilinguismo. Il settaggio è salvato a livello di setup del browser, quindi la scelta della lingua del browser determina quella dell'interfaccia del Geoportale. Attualmente sono supportate le seguenti lingue: inglese, francese, portoghese, spagnolo, tedesco, italiano, polacco e ceco.

Il multilinguismo opera anche al livello dei campi dei metadati.

### Ulteriori elementi del progetto

Il progetto Nature-SDIplus include, oltre agli elementi fino qui esposti:

- il Validation Briefcase, che consiste in un documento di linee guida con annessi template per i report, esempi e tutorial;
- una procedura di valutazione dell'accessibilità e dell'usabilità dei dati armonizzati e dei servizi di data sharing nonché delle funzionalità del Geoportale Centrale;
- una metodologia di valutazione della qualità dei dati (rispondente agli standard EN ISO 19113, ISO TS 19138, EN ISO 19114, EN ISO 19115 e con cross check con la INSPIRE PS Data Specification);
- un questionario propedeutico alla generalizzazione dei dataset;
- il Good Practice Catalogue;
- il Training Framework su tredici moduli e tre livelli comprensivo di piattaforma di e-Learning.

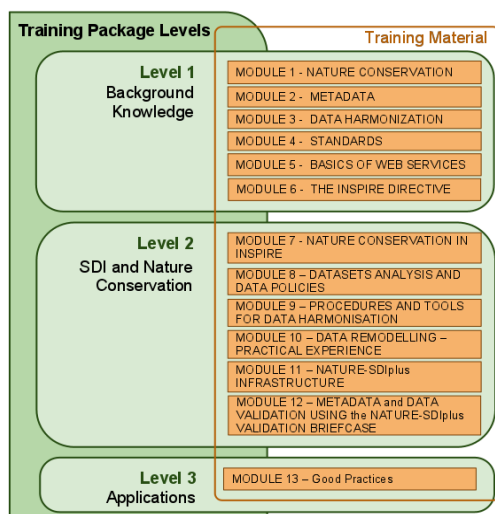


Figura 11 – I moduli del Training Framework del progetto Nature-SDIplus.

## **Topologie, gerarchie e complessità nelle architetture di sistema di *Emergency Operation Center* e di Centrali *Critical Infrastructure Protection*: il ruolo della 3D-COP**

Andrea Fiduccia (\*), Roberto Di Pace (\*\*)

(\*) Intergraph Italia LLC, Via Sante Bargellini 4, 00157 Roma  
Tel. +39.06.43588889; Fax: +39 06 43254376; andrea.fiduccia@intergraph.com

(\*\*) Intergraph Italia LLC, Via Sante Bargellini 4, 00157 Roma  
Tel. +39.06.43588889; Fax: +39 06 43254376; roberto.dipace@intergraph.com

### **Sommario**

Un EOC è un Centro di Comando e Controllo per la gestione di crisi finalizzato a: raccolta, analisi e ridistribuzione di informazioni; comando, controllo e coordinamento interagenzia delle operazioni; predisposizione ed attivazione di piani di risposta agli scenari. Per poter svolgere questi compiti un EOC dispone di sistemi di telecomunicazione, di sistemi di *Information Fusion/Common Operational Picture*, di sistemi di intelligence e di sistemi di *calltaking/dispatching*.

Il requisito più critico per un EOC è quello dell'interoperabilità tra i diversi enti coinvolti nella gestione di una crisi. Ogni ente ha, infatti, i suoi sistemi tecnologici (con i relativi formati dati) e le sue specifiche procedure operative. Quindi il problema è sia tecnologico che organizzativo.

L'interoperabilità, visto che le sorgenti di dati sono eterogenee – militari e civili – si ottiene mediante standard condivisi. Nel caso specifico dei dati geografici, lo standard sono i *web service* OGC (WMS, WFS, WCS, ecc.). Di conseguenza, la “Mappa Collaborativa” diviene basata su una *SOA (Service Oriented Architecture)*, cioè uno “*smart client*” (come nella soluzione software Intergraph per EOC europei *I/PR Planning and Response For Emergency Operation Center*).

L'interoperabilità basata su *SOA* comporta però un problema: per poter attingere ai servizi web geografici dei provider di dati pubblici civili in una siffatta architettura, l'EOC diviene un nodo di una *Spatial Data Infrastructure*. Quindi l'EOC è ‘aperto’ verso internet e potenzialmente soggetto ad attacchi cibernetici.

Una Sala Operativa CIP – che, invece, monitorizza la sicurezza di una infrastruttura tecnologica – è collegata alla Sala Controllo Impianti Tecnici e deve anche poter gestire eventi di origine naturale. In un sistema CIP vi è una consistente componente di *sensor fusion* (sensori perimetrali e anti-intrusione, videosorveglianza, ma anche monitoraggio parametri di impianto, ecc). Gli allarmi sono per lo più generati dai sensori. Vi è reazione agli eventi (quindi *dispatching*), ma anche pianificazione e scenari. Vi è un *Mobile Resource Management* (le squadre di sicurezza) che coesiste con un *Mobile Workforce Management* (le squadre di manutenzione). Anche in una Sala Operativa CIP i dati geografici ed i flussi di dati dei sensori sono condivisi mediante un'architettura *SOA*.

Un ulteriore livello di complessità, comune alle due classi di sistemi, è dato dal fatto che le Sale Controllo (EOC o CIP) operano secondo logiche di competenza territoriale e secondo gerarchie e topologie.

La *Common Operational Picture 2D/3D* è lo strumento con logica geografica attraverso il quale gli operatori delle centrali interagiscono e collaborano.

Nel paper sono esaminati i requirement funzionali e prestazionali della COP 3D per EOC e CIP con esempi relativi a scenari operativi reali ed alle tecnologie della Intergraph Corporation.

## Abstract

An emergency operations center (EOC) is a place where emergency personnel conduct a coordinated response to severe, major events. It typically consists of large building or room reinforced for maximum disaster protection. The building is self-sufficient and can operate for extended periods of time independent of outside power supplies or communications facilities.

It typically performs the following functions: information collection, information processing, information display, information dissemination, management and coordination of interagency activities, implementation of relevant plans, and command and control of assigned resources. Generally, an EOC includes communications links (i.e. telephones, two-way radios, patching equipment); computer equipment; map displays to show geographic attributes; dynamic data of the unfolding situation; static reference data; and response plans. This paper presents typical EOC requirements, and the technology available to address them.

EOCs need technology and tools that provide them with real-time collaboration, external data fusion, situational awareness, financial tracking, status reporting, and resource and consequence management.

Any EOC solution must meet specific standards. EOCs must report using a standard format and meet basic government policy and requirements for regulations (i.e. U.S. standards such as the National Incident Management System NIMS and international standards such as the Association of Public Safety Communications APCO). Another interoperability framework is based on SOA Service Oriented Architecture and particularly it is built using OGC's web services (WMS, WFS, WxS, etc).

Protecting critical, geographically dispersed infrastructure represents an enormous challenge. Damage to power plants, roads, and other critical infrastructures could cause severe human and economic loss.

Effective solutions for Critical Infrastructures Protection provide decision makers a common operating picture for all locations and resources, at all times throughout a security event, while maximizing the use of all available information, technologies, and manpower.

The goal is to take advantage of available sensors, security technologies, and personnel to provide security in a cost-effective manner. Central to the solution is a command and control system that integrates technologies such as global positioning systems, video, or security sensors on an easy-to-view, map-based interface. This helps regional command centers coordinate and communicate before, during, and after an event. Interoperability of CIP systems is built on SOA and OGC's web services.

Both EOCs and CIPs Control Rooms operate having a geographical area of competency and a hierarchy and a topology in a network structure.

The Common Operational Picture is the main collaborative environment.

The functional and performance requirements for 3D/2D COP are exposed in the paper. The requirements are compared with some case histories.

## EOC e Protezione Civile

Per introdurre il concetto di gerarchia e topologia in una rete di EOC ci serviremo di una rappresentazione concettuale dei flussi informativi per un evento di tipo "b".

Ricordiamo che *"in caso di eventi che colpiscono un territorio, il Sindaco ha il compito di provvedere ad assicurare i primi soccorsi alla popolazione, coordinando le strutture operative locali, tra cui i gruppi comunali di volontariato di protezione civile. Se il Comune non riesce a fronteggiare l'emergenza - evento di tipo "a" - su sua richiesta intervengono la Provincia, gli Uffici territoriali di governo, cioè le Prefetture, e la Regione, che attivano le risorse di cui dispongono - evento di tipo "b". Nelle situazioni più gravi, su richiesta del Governo regionale, subentra il livello nazionale, con la dichiarazione dello stato di emergenza - evento di tipo "c". In questo caso il coordinamento dell'intervento viene assunto direttamente dal Presidente del Consiglio dei Ministri, che opera tramite il Dipartimento della Protezione Civile"*.

Rispetto alla tipologia di eventi, il “Metodo” della Protezione Civile prevede un articolato sistema di comando e controllo rappresentato, nelle sue componenti essenziali, in Figura 1.

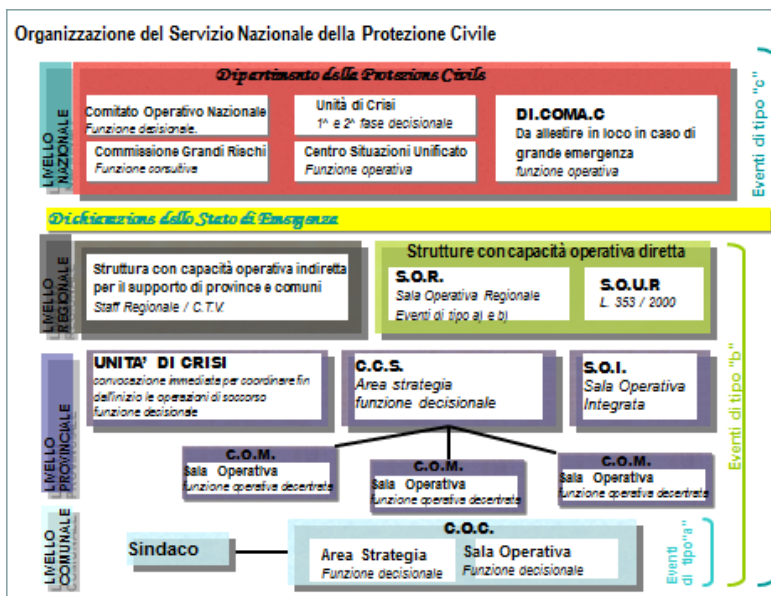


Figura 1 – Elementi principali dell'organizzazione della Protezione Civile (Fonte: VVFF).

Ricordiamo le caratteristiche di alcune delle componenti funzionali ed operative riportate in Figura 1.

- La **DI.COMA.C. (Direzione di Comando e Controllo)** “rappresenta l'organo di coordinamento delle strutture di Protezione Civile a livello nazionale in loco, secondo quanto stabilito da accordi internazionali. Tale organo viene attivato dal Dipartimento della Protezione Civile, in seguito alla Dichiarazione dello Stato di Emergenza. La sede operativa della DI.COMA.C. deve essere ubicata in una struttura pubblica posta in posizione baricentrica rispetto alle zone di intervento”.
- Il **C.C.S. (Centro di Coordinamento Soccorsi)** “rappresenta il massimo organo di coordinamento delle attività di Protezione Civile a livello provinciale. Esso è composto dai responsabili di tutte le strutture operative presenti sul territorio provinciale. I compiti del C.C.S. consistono nell'individuazione delle strategie e delle operatività di intervento necessarie al superamento dell'emergenza attraverso il coordinamento dei Centri Operativi Misti (COM). Nell'ambito dell'attività svolta dal C.C.S. si distinguono una "area strategia", nella quale afferiscono i soggetti preposti a prendere decisioni, ed una "sala operativa" nella quale operano 14 funzioni di supporto dirette da altrettanti responsabili. La sala operativa deve avere una suddivisione interna tale da poter ospitare in ambienti distinti le seguenti funzioni di supporto: -Tecnica e di Pianificazione (molteplici competenze e varie amministrazioni); -Volontariato (numeroso organizzazioni che partecipano all'emergenza); -Strutture operative (dei Vigili del Fuoco, delle Forze Armate, delle Forze dell'Ordine); -Telecomunicazioni (Sala radio separata a causa del rumore di fondo); -Mass Media e Informazione (Sala Stampa limitrofa ma al di fuori della sala operativa)”.
- Il **C.O.M. (Centro Operativo Misto)** “è una struttura operativa che coordina i Servizi di Emergenza. L'ubicazione del C.O.M. deve essere baricentrica rispetto ai Comuni afferenti e localizzata in strutture antisismiche, realizzate secondo le normative vigenti, non vulnerabili a

qualsiasi tipo di rischio. Le strutture adibite a sede C.O.M. devono avere una superficie complessiva minima di 500 m2 con una suddivisione interna che preveda almeno: -una sala per le riunioni; -una sala per le Funzioni di Supporto; -una sala per il Volontariato; -una sala per le Telecomunicazioni. Tali strutture devono essere dotate di un piazzale attiguo che abbia dimensioni sufficienti ad accogliere mezzi pesanti e quanto altro occorra in stato di emergenza”.

- Il **C.O.C. (Centro Operativo Comunale)** “è il centro operativo a supporto del Sindaco, autorità di protezione civile, per la direzione ed il coordinamento dei servizi di soccorso e di assistenza alla popolazione. Tale centro dovrà essere ubicato in strutture antisismiche, realizzate secondo le normative vigenti, ed in aree di facile accesso e non vulnerabili a qualsiasi tipo di rischio. Tali strutture devono essere dotate di un piazzale attiguo che abbia dimensioni sufficienti ad accogliere mezzi pesanti e quanto altro occorra in stato di emergenza. Si dovranno individuare nelle grandi città i quartieri o le circoscrizioni, mentre per le altre tipologie insediative le località e le frazioni”.

Adesso analizziamo i flussi dei dati nel caso di un evento di tipo “b” (Figura 2).

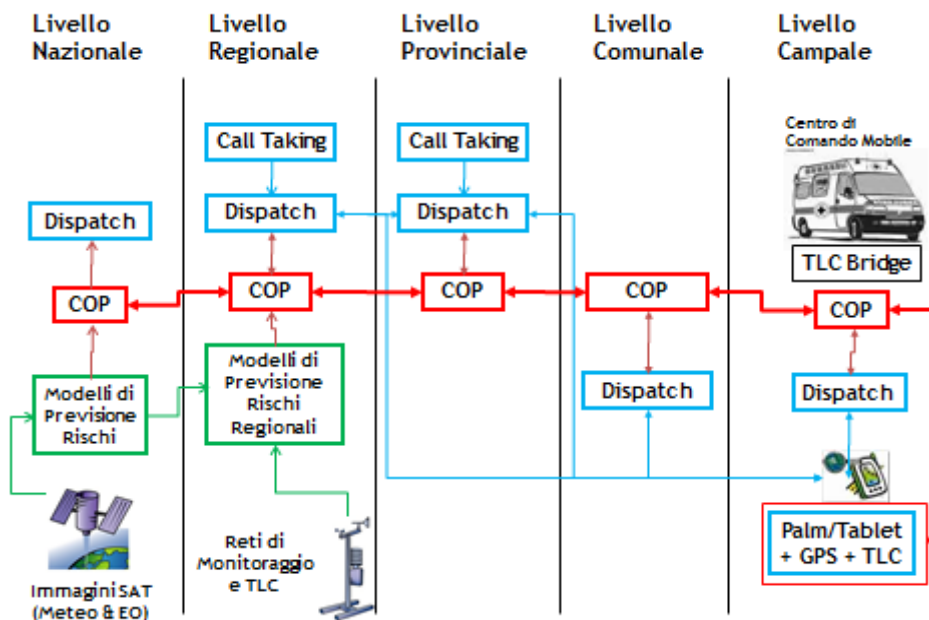


Figura 2 – Flussi di informazioni in un evento di tipo “b”.

I flussi rappresentati in Figura 2 sono classificabili secondo tre tipologie:

- **CallTaking/Dispatching** (elementi in azzurro) – sono i flussi di dati tipici di una sala gestione emergenze; alcuni operatori (*calltaker*) rispondono a chiamate di richiesta soccorso che arrivano mediante chiamate telefoniche dei cittadini e analizzano segnalazioni di eventi critici attivate da allarmi delle reti di monitoraggio, altri operatori (*dispatcher*), sulla base della “validazione” degli eventi operata dai *calltaker*, assegnano le risorse agli eventi e ne seguono l’evoluzione.
- **Common Operational Picture** (elementi in rosso) – è l’ambiente collaborativo basato su tecnologie GIS (2D e 3D) nel quale sono visualizzate le posizioni delle chiamate e degli allarmi



provenienti rispettivamente dal sottosistema di *CallTaking/Dispatching* e dalle reti di monitoraggio, le previsioni dei modelli e le posizioni delle risorse in campo.

- **Modelli e Reti di Monitoraggio** (elementi in verde) – appartengono a questa tipologia flussi di dati di sistemi eterogenei (immagini di satelliti per l'osservazione della terra, immagini di satelliti meteorologici; reti di sensori idropluviometrici, sensori per il monitoraggio delle frane, modelli matematici di previsione meteorologica e di scenari di rischio a partire dai dati dei sensori).

I tre flussi sono diversamente generati e fruiti dai nodi della catena decisionale della Protezione Civile. La necessaria interoperabilità è garantita da standard condivisi.

Una prima standardizzazione è a livello architetturale ed è fondata sulla *SOA - Service Oriented Architecture*, cioè su di un'architettura basata su *web service*.

In particolare, per i dati geografici si adottano i web service OGC (WMS, WFS, WCS, etc).

L'esperienza del progetto **SensorNet**, il sistema net-centrico che integra sensori, servizi e dati per l'*Homeland Security* negli USA, ha dimostrato l'applicabilità dei *web service* OGC anche all'interoperabilità dei flussi di dati dei sensori per il rilevamento intrusioni e per il rilevamento di sostanze pericolose (*CBRNE - Chemical, Biological, Radiological, Nuclear and Explosive*). Per ottenere un'architettura *plug-and-play* è stato sviluppato lo standard IEEE 1451. In *SensorNet* tutte le "entità" sono geografiche e, conseguentemente, la struttura dati di base è realizzata a partire dallo standard OGC WFS (dato geografico vettoriale + dati alfanumerici codificato in GML) coniugato ad un architettura di sicurezza basata su certificati.

Il prototipo di *SensorNet*, realizzato dall'Oak Ridge National Laboratory (ORNL), Intergraph, ObjectVideo e dal Directorate of Emergency Service di Fort Bragg, è l'Integrated Incident Management Center (I<sup>2</sup>MC) di Fort Bragg. I "dati sensori sono "fusi" – geograficamente – con i dati (video e traiettografia) generati dall'*Intelligent Video Surveillance System (IVSS)* nella *Common Operational Picture* a partire dalla quale il *dispatcher* attiva la gestione dell'evento.

Un altro livello di interoperabilità sono i protocolli, come il *CAP (Common Alerting Protocol)* e il "*Dizionario TSO (Tactical Situation Object)*", per l'interscambio di messaggistica in un contesto di gestione dell'emergenza.

Appare chiaro, a nostro avviso, che i singoli nodi del network decisionale sono, dal punto di vista dei dati geografici, nodi di una *Spatial Data Infrastructure*. A tal proposito è importante sottolineare che l'interoperabilità OGC è di tipo sintattico (cioè relativa al modello fisico del dato comprendente anche il sistema di coordinate geodetico-cartografiche), ma non entra nelle problematiche di tipo semantico. Le codifiche degli attributi e l'organizzazione logica degli strati informativi sono esempi di problemi che appartengono al campo dell'interoperabilità semantica. Se due enti territoriali confinanti, che hanno competenza per la realizzazione dello stesso strato informativo, lo strutturano diversamente da un punto di vista concettuale e logico, ne compromettono l'usabilità.

A livello europeo, la Commissione ha riconosciuto l'importanza della disponibilità dei dati geografici in quantità consistenti ed in modalità di fruizione condivisa e mediante la Direttiva INSPIRE (2007/2/EC) ha posto le basi legali per la European Spatial Data Infrastructure costituita sulle SDI "standardizzate" dei singoli Stati Membri e con una focalizzazione iniziale sulle tematiche ambientali.

INSPIRE ha previsto che, nel periodo 2006-2008, venissero definite le regole per realizzare le Infrastrutture di Dati Territoriali nei vari paesi dell'Unione Europea.

Queste regole sono dette Implementing Rules e sono finalizzate all'interoperabilità dei servizi ed all'armonizzazione delle informazioni geografiche in ambito europeo.

Per favorire il decollo di INSPIRE - e dell'iniziativa ad essa vicina *GMES (Global Monitoring for Environment and Safety)* - la Commissione Europea finanzia, attraverso vari Fondi (FP6, FP7, eContentPlus) progetti pre-operativi. In particolare per lo sviluppo dei Data Models dei dati dell'Annex II la Commissione individua dei *Reference Project* che operano in *clustering* con il JRC.

Ad oggi, la modalità tecnica individuata per la data harmonization è quella del “data remodeling”: a “livello INSPIRE” vengono individuati i *common data model* per le varie tipologie di dati e i *data provider* condividono le loro banche dati trasformandole, a rigore “*real time*”, secondo i *common data model* o come *web service* WMS (o, preferibilmente, WFS) ovvero rendendo il dato scaricabile in GML 3.2.

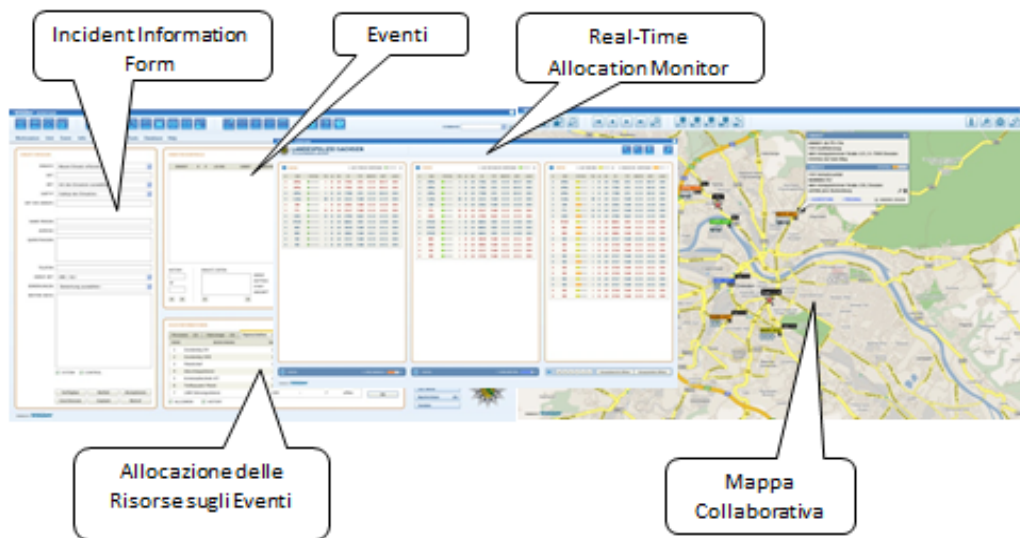


Figura 3 – Common Operational Picture in una Sala Gestione Emergenze (Tecnologia I/CAD - Intergraph Computer-Aided Dispatch).

Da quanto sin qui evidenziato, si possono dedurre i *requirement* per la COP.

1. La COP è un client per *web service* OGC erogati da SDI (e, nell'EU deve essere *compliant* con le “regole tecniche” di INSPIRE)
2. La COP deve poter funzionare in presenza di banda ridotta e in caso di interruzioni della rete, quindi deve disporre di *caching* “intelligente” dei dati (sia lato client che lato server).
3. La COP deve poter interfacciare *data streaming* di sensori e traiettografia di risorse mobili.
4. Deve esistere una “COP leggera” per dispositivi palmari.
5. La COP è una “mappa collaborativa”, quindi implementa strumenti ottimizzati per utenti che non sono specialisti di informazione geografica.
6. La disponibilità della visualizzazione 3D permette di avere un'interfaccia più intuitiva e di disporre di funzionalità a valore aggiunto (intervisibilità, modelli di simulazione, ...).
7. A differenza di un applicativo cartografico da Sala Gestione Emergenze – che è orientato alla gestione del ciclo chiamata-intervento – la COP di un EOC è orientata ad attività che non devono essere necessariamente legate ad una “chiamata”, bensì ad una pianificazione e deve, conseguentemente, implementare specifici strumenti.
8. La COP deve avere un Resource Management System per la gestione di personale e attrezzature.

Dunque, la COP non è un semplice “sistema cartografico” da sala operativa. Non a caso, Intergraph Corporation che detiene una posizione di leadership di mercato nel settore delle Sale Gestione Emergenze (paradigma della Centrale a Numero Unico – “9-1-1” negli USA e “1-1-2” in Europa), ha sviluppato una specifica linea di prodotti per gli EOC anche sfruttando la grande esperienza maturata nel settore delle SDI.

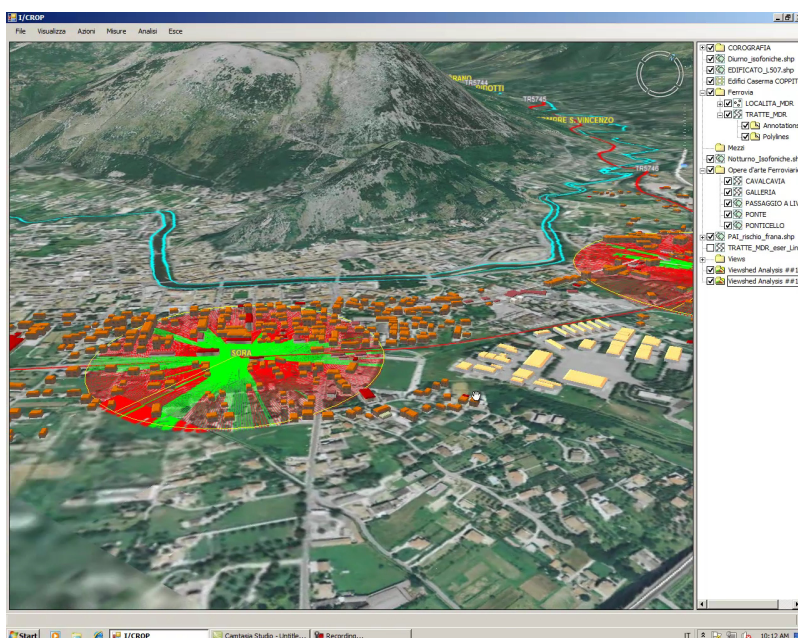


Figura 4 – Common Operational Picture 3D (Tecnologia I/CROP I<sup>2</sup>RMS - Intergraph Incident and Resource Management System).

La Intergraph Corporation, infatti, ha partecipato a progetti collegati ad INSPIRE cofinanziati dalla Commissione Europea quali il progetto HUMBOLDT (GMES Global Monitoring for Environment and Security), i progetti GIS4EU, EURADIN, eSDI-Net+, NATURE-SDIplus (eContentPlus), il progetto CAFÉ (SEIS - Shared Environment Information System) e partecipa al European Security Research Programme (ESS).

Poi, Intergraph ha sviluppato in Europa diversi progetti di SDI a livello nazionale e regionale collegati ad INSPIRE: i GeoPortali della Repubblica Ceca e della Polonia; le SDI delle Asturie (IDEAS) e della Galizia (IDEG) e il Progetto IDERioja in Spagna; la IDT della Regione Veneto in Italia; etc.

Una prima soluzione per gli EOC è un'architettura "ibrida" nella quale le architetture gerarchiche rigidamente client-server proprie delle "centrali 9-1-1" (tecnologia **I/CAD - Intergraph Computer-Aided Dispatch**) sono integrate con sistemi basati su *SmartClient* per il *dispatching* "leggero", per le funzionalità di COP-client SDI e di condivisione di tool di pianificazione in ambiente web (tecnologia **I/PR - Intergraph Planning and Response For Emergency Operation Center**). Questo approccio è stato adottato per il sistema integrato di sale controllo della Polizia della Sassonia (13 sale controllo della polizia con integrazione della rete radio digitale TETRA e sistemi di Coordinamento Interagenzia e di Mappa Collaborativa con data fusion tra i dati di intervento e le sorgenti di informazione geografica istituzionale della *Spatial Data Infrastructure* della Sassonia).

Nella Sala Operativa del G8 a L'Aquila nel 2009, invece, Selex Sistemi Integrati (FinMeccanica), prime contractor incaricato dal Dipartimento Nazionale della Protezione Civile per la gestione dell'evento G8, ha utilizzato per la Common Operational Picture la consolle **Intergraph Geospatial Integrator for Onsite Troops and Tracks Observation**. Tale tecnologia è parte integrante del sistema di pianificazione, monitoraggio e controllo proposto da Intergraph Italia nell'ambito della gestione grandi eventi e gestione emergenze che rende disponibile agli operatori dei vari Enti delle varie Funzioni, interfacce dedicate 2D e 3D, funzionalità avanzate di interrogazione, annotazione e condivisione di informazioni.

### **Common Operational Picture 3D e sistemi Critical Infrastructure Protection**

I sistemi *Critical Infrastructure Protection* presentano molti aspetti in comune con gli EOC in quanto devono interfacciare nella COP dati geografici con *streaming* di sensori. In un contesto di sicurezza è routine la pianificazione, situazione eccezionale quella di “evento” e vi è un aspetto duale di *Mobile Resource Management* (sicurezza) e di *Mobile Workforce Management* (manutenzione). Nel segmento di mercato della *Critical Infrastructure Protection*, caratterizzato dalla necessità di interfacciare il sistema di *security* con il sistema di gestione tecnica dell’infrastruttura critica, un ulteriore vantaggio competitivo di Intergraph è dato dal fatto che la divisione **Intergraph PP&M** è il leader di mercato nel segmento dei software per la progettazione e gestione degli impianti industriali e che molte grandi Utilities hanno informatizzato le loro reti con il software **Intergraph G/Technology**.

Nel caso dei sistemi CIP, quindi, ulteriori funzionalità sono richieste alla COP3D:

9. La COP deve integrare la *data fusion* da sistemi radar o da *videanalytics* avanzate.

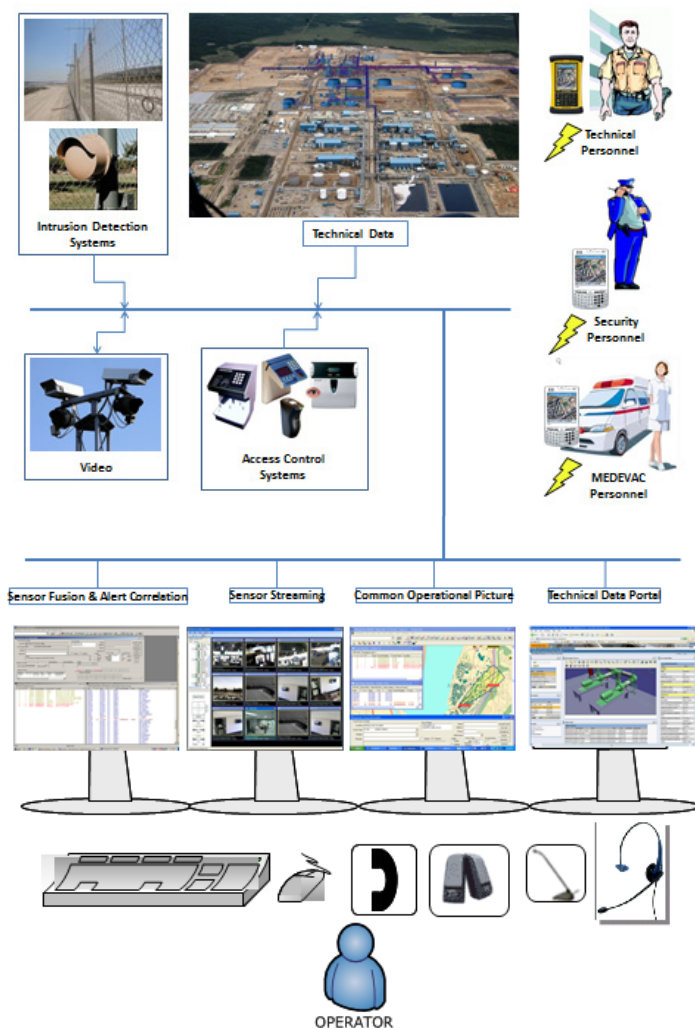


Figura 5 – Sistema Critical Infrastructure Protection Intergraph (I/Security Framework, SmartPlant Enterprise for Owner Operators).



10. La COP deve riportare lo stato dei sensori di controllo perimetrale e, con particolare riferimento alle Camere PTZ, deve essere visibile nella COP il *field of view* coperto dalle singole camere e deve essere possibile selezionare dalla COP lo streaming delle videocamere (che poi verrà visualizzato nell'ambiente di *exploitation*) e pilotare il brandeggio delle videocamere.
11. Nella COP deve essere possibile vedere tridimensionalmente gli impianti tecnici, con possibilità di identificarne gli elementi, accedere ad informazioni sul funzionamento dell'impianto interfacciando lo SCADA e i cosiddetti sistemi PA-GA-SA (*Public Address - General Alarm - Sensor Alarm*) per gli allarmi relativi a malfunzionamenti o emergenze (analisi fumi, anomalie termiche, antincendio, etc).

Tali requisiti sono soddisfatti dalla componente COP 3D della soluzione Intergraph I<sup>2</sup>RMS.

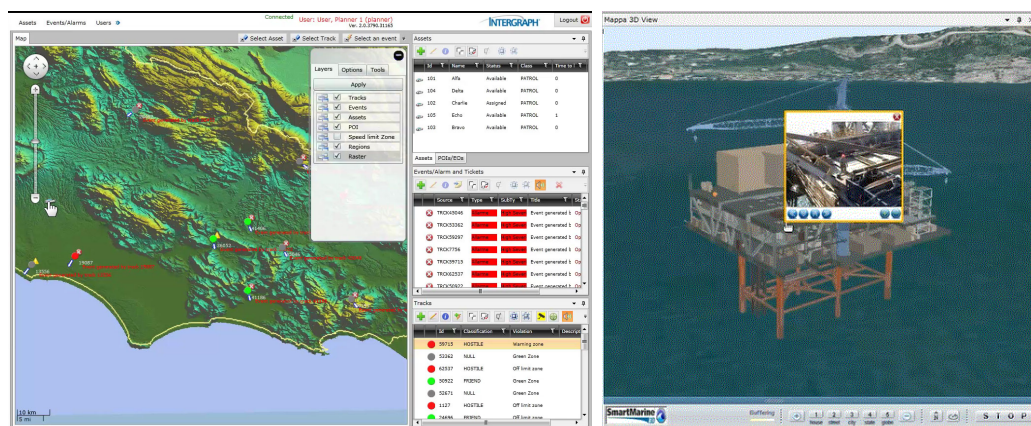


Figura 6 – COP 2D e 3D in I<sup>2</sup>RMS.

Un'altra problematica propria delle soluzioni CIP, e risolta mediante la soluzione I<sup>2</sup>RMS da Intergraph, è quella delle diverse possibili gerarchie/topologie dei network decisionali.

In genere, il network decisionale ha una struttura a tre livelli:

- Livello 1. Sito remoto di sensori. Un esempio può essere un sito che ospita un radar di sorveglianza marittima e una camera multispettrale *long range*, con i relativi sistemi di alimentazione e di telecomunicazione. Talvolta questa tipologia di siti è presidiata da personale che può gestire direttamente i sensori oppure si tratta di sistemi pilotati da remoto.
- Livello 2. Centrale di Controllo "Locale" che ha la responsabilità per una certa area territoriale o funzionale comprendendo diversi siti di Livello 1.
- Livello 3. Centrale di Controllo "Primaria" dell'intero sistema che ha, conseguente, la COP dell'intera infrastruttura critica.

A partire da questa struttura si possono ottenere più configurazioni operative - ricordiamo che una caratteristica peculiare di alcune infrastrutture critiche è quella di avere una rilevante estensione territoriale (si pensi ad una infrastruttura di trasporto o di trasmissione dell'energia o ad una *pipeline*).

In un primo scenario, il ruolo operativo principale è svolto dalle Centrali di Controllo di Livello 2. Ad esse è data la missione di gestire le crisi nella loro area di competenza disponendo di forze di reazione autonome, mentre la Centrale di Livello 3 monitorizza la situazione complessiva, ma non dispone di risorse per interventi. Le Centrali di Livello 2 possono telecontrollare i sensori dei Siti di Livello 1. Talvolta la Centrale di Livello 3 dispone di reti di sensori remoti di Livello 1 che gestisce direttamente.

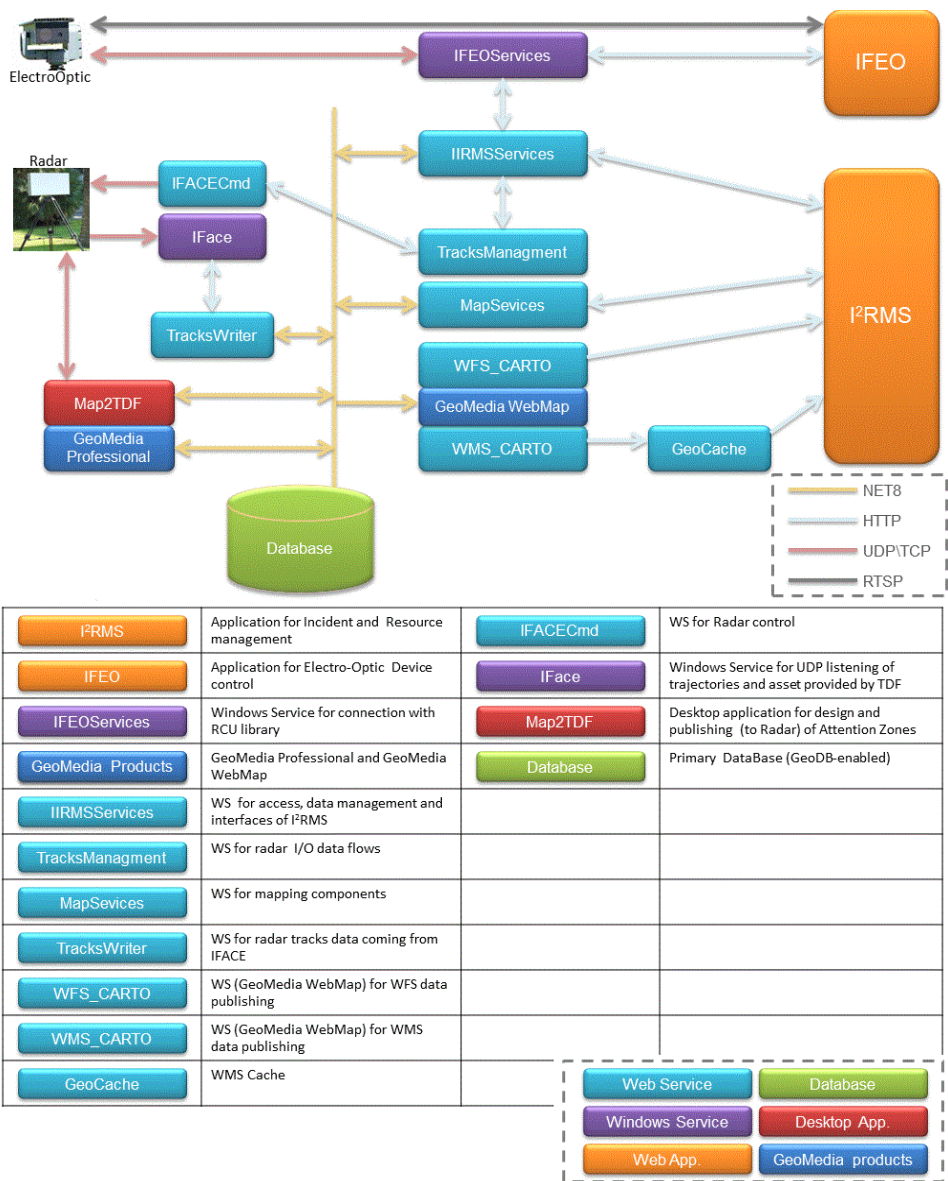


Figura 7 – Intergraph I²RMS: architettura di un singolo “nodo”.

In altri scenari, la Centrale di Livello 1 dispone di sue forze di reazione e può andare in sostituzione (*over-ride*) delle Centrali di Livello 2 laddove dovesse ravvisare un mancato intervento e telecontrollare tutti i Siti di Livello 1. Tra questi due scenari “estremi” se ne possono situare di ibridi e il network decisionale prevede, poi, siti di mirroring per i repository di informazioni critiche che operano tra loro secondo logiche di *disaster recovery*.



Dunque, ad soluzione tecnologica di Comando e Controllo per sistemi di Protezione di Infrastrutture Critiche è richiesta una grande flessibilità di configurazione. In Figura 7 è rappresentata la struttura di un “Nodo I<sup>2</sup>RMS” ed in Figura 8 un esempio di architettura per sistema CIP su tre livelli.

Ancora una volta la soluzione al problema è nella *Service Oriented Architecture*.

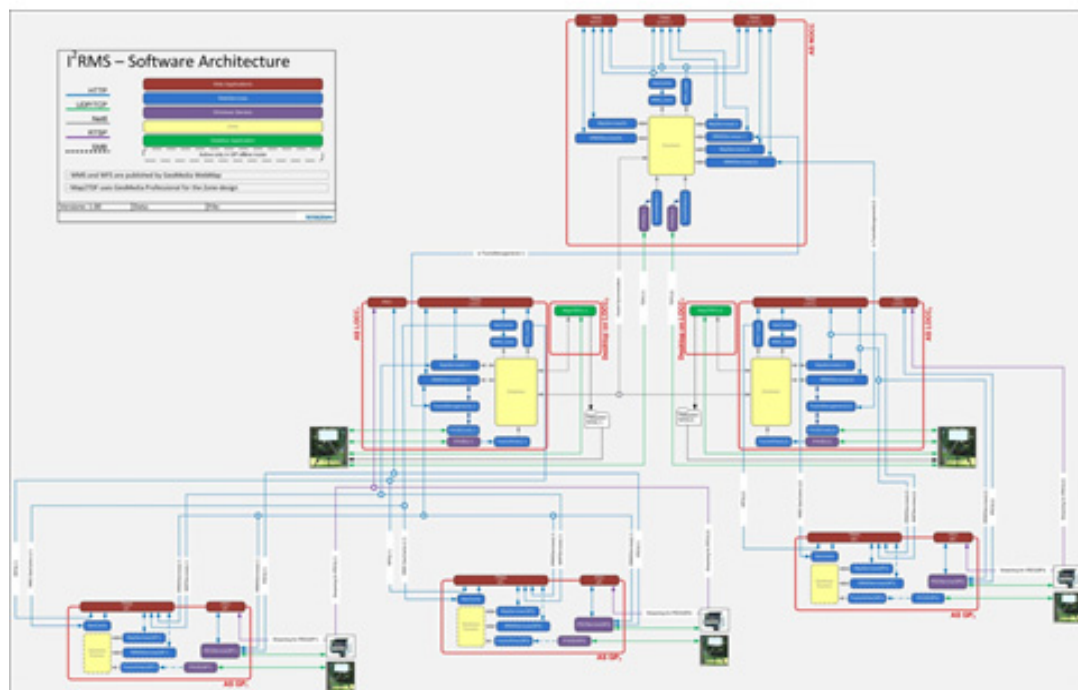


Figura 8 – Intergraph I<sup>2</sup>RMS: esempio di architettura di sistema CIP su tre livelli.

In conclusione, quanto esposto nel presente paper documenta il *commitment* della Intergraph Corporation nel realizzare soluzioni software a standard industriale (*COTS – Commercial-Of-The-Shelf*) nel settore dell'informazione geografica che costituiscono, da oltre 40 anni, un riferimento a livello mondiale, in termini di efficienza ed affidabilità, per le sale operative della pubblica sicurezza, dei vigili del fuoco, per l'emergenza sanitaria, per la Protezione Civile e per la protezione delle infrastrutture critiche. Di fatto, nel mondo, una persona su dodici è “protetta” da sistemi Intergraph.



## **Applicazioni geomatiche nell'ingegneria delle infrastrutture**

Federico Fiori (\*), Luigi Mussio (\*\*), Valentina Slavazzi (\*\*\*),  
Claudia Vanetti (\*\*\*\*), Stefania Vismara (\*\*\*\*\*)

(\*) Politecnico di Milano, D.I.I.A.R., e-mail: federico.fiori@polimi.it

(\*\*) Politecnico di Milano, D.I.I.A.R., e-mail: luigi.mussio@polimi.it

(\*\*\*) Politecnico di Milano, D.I.I.A.R., e-mail: valentinasl@alice.it

(\*\*\*\*) Politecnico di Milano, D.I.I.A.R., e-mail: vanets@libero.it

(\*\*\*\*\*) Politecnico di Milano, D.I.I.A.R., e-mail: stefania.vismara@hotmail.it

### **Riassunto**

Un campo prove materiali allestito è stato studiato, mediante misure in sito, indagini di laboratorio e simulazioni analitiche, desumendo grandezze meccaniche di interesse e raggiungendo risultati statisticamente significativi. Allora avendo programmato un piano mirato di esperimenti simulati, lo studio è proseguito così da stabilire numeri minimi di parametri, capaci di spiegare il fenomeno con una certa precisione. Una seconda parte tratta della ricostruzione di superficie, interessata da una linea di rottura. Infatti l'approccio statistico, in sostituzione ai normali rilievi profilo-metrici e sulla base di semplici rilievi topografici, fa ricorso a tecniche di matematica applicata ed informatica grafica. Nel caso specifico, una lastra di calcestruzzo fessurata è stata ricostruita nelle sue variazioni nello spazio, a seguito di variazioni di temperatura giornaliera. A riguardo, si noti il carattere interdisciplinare del lavoro che collega insieme matematica applicata, trattamento delle osservazioni (proprio della topografia e della geomatica) e progettazione civile di infrastrutture.

### **Abstract**

A well designed plan of simulated experiments has been programmed. After that the study is continued in order to establish the smallest number of parameters able to explain the test field with a given precision. A second part deals with the study of a typical rigid pavement surface interested by a break-line. The aim is monitoring of a surface deformation reconstruction, due to daily temperature variations, in order to set up innovative solutions.

## **PARTE I – ANALISI DELLA CONNESSIONE, DI VARIANZA E FATTORIALE DELLE PRESTAZIONI DI PAVIMENTAZIONI AEROPORTUALI**

### **Connessione multipla**

Lo studio in fase progettuale delle prestazioni in esercizio, di pavimentazioni per infrastrutture di trasporto e, in particolare, aeroportuali è necessario al fine di realizzare pavimentazioni con elevati standard di sicurezza e durabilità, anche in ragione del valore economico del bene. Il ricorso a sistemi innovativi di pavimentazione che associno, alle necessarie prestazioni nel tempo, anche il ricorso a materiali di riciclo o di recupero risulta un tema di grande interesse per le implicazioni economiche ed ambientali che tali materiali presentano. Per tali ragioni, è stato affrontato lo studio di due diversi sistemi: una pavimentazione flessibile, di tipo tradizionale, ed una di tipo innovativo, realizzata con materiali riciclati dalla demolizione di opere civili, per gli strati portanti, e da uno strato superficiale posato con la tecnologia bitume – cemento. Per entrambe le pavimentazioni, costituita ognuna da quattro strati, lo studio è stato effettuato mediante l'ausilio di un campo prove, per mezzo del quale è stato possibile misurare con prove di laboratorio e di campo le principali caratteristiche meccaniche dei materiali costituenti. Inoltre sulla base di tali risultati, si è proceduto

per via analitica a determinare la durabilità delle due pavimentazioni, individuando lo strato dove si determina la rottura per fatica ed il comportamento della pavimentazione in seguito a ciò.

A partire da quanto ottenuto, un piano mirato di esperimenti simulati è stato programmato, in base ad una tabella di connessione multipla. Infatti detta tabella, costruita mediante il calcolo delle contingenze multiple, fornisce i dati intermedi per la stima degli indici multipli di Bonferroni, i cui valori variano tra zero ed uno, ed indicano connessione maggiore per i valori più alti (di seguito, si riportano tutte le espressioni usate <sup>1</sup>).

Contingenze:  $c_{ijk} = f_{ij} - p_i q_j r_k$  dove:  $-1 \leq c_{ijk} \leq 1$

Semi – contingenza media:  $C_0 = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^l |c_{ijk}|$

#### Indici di Bonferroni unilaterali:

$$\left\{ \begin{array}{l} \beta_x = \frac{C_0}{1 - \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^l R_{jk}^3} ; \text{ indipendenza } 0 \leq \beta_x \leq 1 \text{ perfetta dipendenza } x = h(yz) \\ \beta_y = \frac{C_0}{1 - \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^l Q_{ik}^3} ; \text{ indipendenza } 0 \leq \beta_y \leq 1 \text{ perfetta dipendenza } y = g(xz) \\ \beta_z = \frac{C_0}{1 - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m P_{ij}^3} ; \text{ indipendenza } 0 \leq \beta_z \leq 1 \text{ perfetta dipendenza } z = f(xy) \end{array} \right.$$

#### Indici di Bonferroni trilaterali:

$$\left\{ \begin{array}{l} \beta_0 = \sqrt[3]{\beta_x \beta_y \beta_z} ; \text{ indipendenza } 0 \leq \beta_0 \leq 1 \text{ perfetta dipendenza trilaterale} \\ \beta_{-1} = \frac{3\beta_x \beta_y \beta_z}{\beta_x \beta_y + \beta_x \beta_z + \beta_y \beta_z} ; \text{ indipendenza } 0 \leq \beta_{-1} \leq 1 \text{ perfetta dipendenza trilaterale} \end{array} \right.$$

essendo: le frequenze marginali:  $p_i = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^l f_{ijk} \quad \forall i \quad q_j = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^l f_{ijk} \quad \forall j$

$$r_k = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m f_{ijk} \quad \forall k$$

e le frequenze marginali doppie:  $P_{ij} = \sum_{k=1}^l f_{ijk} \quad \forall ij \quad Q_{ik} = \sum_{j=1}^m f_{ijk} \quad \forall ik$

$$R_{jk} = \sum_{i=1}^n f_{ijk} \quad \forall jk$$

Allora date le due tabelle sotto riportate, di frequenze e contingenze, le cui dimensioni sono costituite da un numero di strati pari a 4, per ognuna delle pavimentazioni (2 blocchi), e da un

<sup>1</sup> Le espressioni, riportate nel prosieguo, non sono particolarmente complesse, fatto salvo riconoscere come i quadrati delle espressioni bidimensionali siano stati sostituiti dai cubi nelle espressioni tridimensionali, positivi perché riferiti a frequenze e/o probabilità, ed invece rappresentanti geometricamente volumi nello spazio 3D, anziché aree nel piano.

numero trattamenti pari a 3 (condizioni di rottura per fatica di uno strato), gli indici multipli di Bonferroni monolaterali (per righe, colonne e pile) e trilaterali (geometrico ed armonico) risultano:

$$0.511 \quad 0.511 \quad 0.514 \quad 0.512 \quad 0.512$$

|     | A |   |   | B |   |   | A      |        |        | B      |        |        |
|-----|---|---|---|---|---|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|     | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 | 1      | 2      | 3      | 1      | 2      | 3      |
| I   | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0.042  | 0.042  | -0.042 | 0.042  | -0.042 | -0.042 |
| II  | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0.042  | 0.042  | -0.042 | 0.042  | -0.042 | -0.042 |
| III | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 2 | -0.042 | -0.042 | 0.042  | -0.042 | 0.042  | 0.042  |
| IV  | 0 | 0 | 2 | 0 | 2 | 2 | -0.042 | -0.042 | 0.042  | -0.042 | 0.042  | 0.042  |

Questi valori sono abbastanza elevati, anche se non elevatissimi, e danno comunque ragione per continuare uno studio puntuale del fenomeno in esame, mediante l'analisi di varianza.

### Analisi di varianza a tre vie senza interazioni fra le celle

Un insieme di dati stratificato due volte è raggruppabile in celle tridimensionali. L'informazione dentro le celle è rappresentata da una variabile statistica multidimensionale i cui elementi sono i valori degli attributi dell'informazione stessa. Nella tecnica di analisi di varianza si considera la varianza generale come somma di due componenti, le varianze spiegate e la varianza residua, ortogonali tra loro. Lo scopo è quello di massimizzare le varianze spiegate (che descrivono il fenomeno secondo il modello stratificato) rispetto a quella residua (che è legata, invece, al carattere statistico dei dati e, in conclusione, alla loro accidentalità).

Nell'analisi di varianza a tre vie senza interazione tra le celle, il modello funzionale adottato è il seguente, mentre il modello stocastico prevede osservazioni indipendenti e di uguale precisione:

$$\bar{a} + \hat{a}_i + \hat{a}_j + \hat{a}_k = s_{ijkl}^o + \hat{v}_{ijkl} \quad \forall i=1,\dots,I \quad j=1,\dots,J \quad k=1,\dots,K \quad l=1,\dots,L=1$$

Nella espressione precedente  $I$  è il numero trattamenti,  $J$  è il numero di blocchi,  $K$  è il numero di strati ed  $L=1$  è la dimensione della variabile statistica. Il numero complessivo di osservazioni (si veda, a riguardo, la tabella riportata più oltre assieme agli scarti – residui) è  $m = I \cdot J \cdot K \cdot L = 24$ , ed il numero di parametri è  $n = I + J + K + 1 = 10$ . A tali equazioni è necessario aggiungere alcune condizioni di vincolo, a causa della sovrapparametrizzazione dovuta ad incognite non linearmente indipendenti che determinano singolarità del sistema. Pertanto per ogni gruppo di parametri, si è imposto che la loro somma fosse esattamente nulla, ovvero una matrice di coefficienti tutti unitari a basso peso ( $10^{-2}$ ) è stata addizionata alla matrice normale per ogni gruppo di parametri. I valori numerici ad esse relativi possono essere facilmente ottenuti risolvendo, a minimi quadrati, i suddetti sistemi di equazioni d'osservazione e, tramite essi, propagando le varianze delle osservazioni.

### SOLUZIONE, SQM E TEST T DI STUDENT

|          |         |        |         |        |
|----------|---------|--------|---------|--------|
| MEDIA:   |         |        |         | 1      |
| 1        | 0.7426  | 1.3580 | 0.5468  | 2.1100 |
| STRATI:  |         |        |         | 4      |
| 2        | -0.0578 | 0.5265 | -0.1097 | 2.1100 |
| 3        | -0.0370 | 0.5265 | -0.0703 | 2.1100 |
| 4        | 0.0133  | 0.5265 | 0.0253  | 2.1100 |
| 5        | 0.0815  | 0.5265 | 0.1547  | 2.1100 |
| BLOCCHI: |         |        |         | 2      |
| 6        | 0.5025  | 1.0436 | 0.4815  | 2.1100 |
| 7        | -0.5025 | 1.0436 | -0.4815 | 2.1100 |

|              |         |        |         |        |
|--------------|---------|--------|---------|--------|
| TRATTAMENTI: |         |        | 3       |        |
| 8            | -0.2648 | 0.6977 | -0.3796 | 2.1100 |
| 9            | 0.1123  | 0.6977 | 0.1609  | 2.1100 |
| 10           | 0.1525  | 0.6977 | 0.2186  | 2.1100 |

Dalla tabella si evidenzia ovviamente la somma nulla dei parametri di ciascun gruppo, ma soprattutto la non significatività di alcun parametro, compresa la media generale, ad eccezione di quello relativo al terzo trattamento, risultato debolmente significativo. Eppure come specificato nel prosieguo, l'analisi di varianza a tre vie è del tutto significativa. Infatti dalle stime dei parametri si ricavano, immediatamente, le varianze spiegate, relative ai trattamenti  $T$ , ai blocchi  $B$  ed agli strati  $S$ , concordemente al modello di riferimento prescelto, e la varianza residua:

$$\sigma_T^2 = \frac{1}{I-1} \sum_{i=1}^I \hat{a}_i^2 \quad \sigma_B^2 = \frac{1}{J-1} \sum_{j=1}^J \hat{a}_j^2 \quad \sigma_S^2 = \frac{1}{K-1} \sum_{k=1}^K \hat{a}_k^2 \quad \sigma_R^2 = \frac{1}{\nu} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L \hat{v}_{ijkl}^2$$

dove il denominatore della varianza residua rappresenta i gradi di libertà del sistema:  $\nu = I \cdot J \cdot K \cdot L - (I-1) - (J-1) - (K-1) - 1$ . Un giudizio sull'analisi di varianza e sulla validità dei modelli adottati discende dalla comparazione fra la varianza spiegata e residua. In questa sede, si utilizza sempre lo schema rigido di comparazione, confrontando direttamente la varianza spiegata e la varianza residua. Di conseguenza, si ha:

#### ANALISI DI VARIANZA:

|                                |   |        |        |
|--------------------------------|---|--------|--------|
| STRATI E TEST F DI FISHER      | 4 | 0.8126 | 2.9600 |
| BLOCCHI E TEST F DI FISHER     | 2 | 0.0662 | 3.5900 |
| TRATTAMENTI E TEST F DI FISHER | 3 | 5.8052 | 3.2000 |

dove il test F di Fisher passa per quanto riguarda i trattamenti, ovviamente significativi che caratterizzano la prova in esame (e danno senso e significato all'intero trattamento statistico dei dati), mentre lo stesso test non passa per quanto riguarda sia gli strati che i blocchi. Eppure è possibile rilevare come gli strati diano un po' più di significato al test, rispetto ai blocchi, in quanto cambiare strato vuol dire operare ad un diverso livello di profondità, mentre cambiare blocco vuol dire cambiare materiale che le prove simulate a fatica vogliono dimostrare sostanzialmente equivalenti e sostituibili, di conseguenza, essendo il secondo più conveniente, da diversi punti di vista operativi.

Queste considerazioni danno ragione della effettiva validità dell'analisi di varianza, rispetto al semplice test di significatività dei parametri, effettuato con la distribuzione t di Student. In effetti, confrontando qualitativamente la varianza a priori con il sigma zero a posteriori si può osservare una significativa riduzione della dispersione (a riguardo, si noti che, data la loro stretta dipendenza, potrebbero essere confrontati solo in termini non – parametrici) ed il test chi quadrato passa con un'abbondanza addirittura sbalorditiva:

|                                     |        |        |         |    |
|-------------------------------------|--------|--------|---------|----|
| MEDIA, SQM E N. DATI E PARAMETRI    | 1.1855 | 0.3908 | 20      | 10 |
| GDL, SIGMA ZERO E TEST CHI QUADRATO | 17     | 0.2085 | 30.2000 |    |

Controlli numerici danno ragione della sostanziale correttezza del modo di procedere. Infatti tanto il numero di condizione del sistema (calcolato sulla norma dell'estremo superiore delle matrici normale ed inversa), quanto le ridondanze locali delle singole osservazioni (calcolate in base al teorema di decomposizione ortogonale della varianza) sono relativamente elevati:

|                                          |        |        |
|------------------------------------------|--------|--------|
| NUMERO DI CONDIZIONE E RIDONDANZE LOCALI | 0.6369 | 0.7083 |
|------------------------------------------|--------|--------|



cosa che ben garantisce di una sufficiente lontananza tanto dalla condizione di singolarità e mal – condizionamento del sistema, quanto dalla condizione di inaffidabilità e non – controllabilità delle singole osservazioni. Da ultimo per quanto riguarda l'eventuale presenza di dati anomali, occorre segnalare come il test tau di Thompson non evidenzia alcuna osservazione, su ventiquattro, oltre la soglia di criticità, cosa che assicura della sufficiente bontà dei dati ed esclude particolari necessità di eliminare dati anomali, prima di effettuare il calcolo di statistiche ottimali.

Nell'immediato prosieguo, si riportano le stime delle osservazioni compatibili con il modello funzionale adottato, precedute dai valori delle osservazioni e seguite dal loro scarto quadratico medio, nonché gli scarti – residui delle equazioni d'osservazione.

#### DATI, STIME, SQM, SCARTI, SQM, TEST TAU DI THOMPSON

|    |        |         |        |         |        |         |
|----|--------|---------|--------|---------|--------|---------|
| 1  | 0.6828 | 0.9224  | 0.1126 | 0.2396  | 0.1755 | 1.3653  |
| 2  | 0.7032 | 0.9432  | 0.1126 | 0.2400  | 0.1755 | 1.3672  |
| 3  | 0.7466 | 0.9935  | 0.1126 | 0.2469  | 0.1755 | 1.4068  |
| 4  | 0.8056 | 1.0617  | 0.1126 | 0.2561  | 0.1755 | 1.4589  |
| 5  | 0.4522 | 1.2996  | 0.1126 | -0.1526 | 0.1755 | -0.8697 |
| 6  | 1.4639 | 1.3203  | 0.1126 | -0.1436 | 0.1755 | -0.8182 |
| 7  | 1.5347 | 1.3706  | 0.1126 | -0.1641 | 0.1755 | -0.9347 |
| 8  | 1.5503 | 1.4388  | 0.1126 | -0.1115 | 0.1755 | -0.6354 |
| 9  | 1.4522 | 1.3398  | 0.1126 | -0.1124 | 0.1755 | -0.6403 |
| 10 | 1.4639 | 1.3606  | 0.1126 | -0.1033 | 0.1755 | -0.5888 |
| 11 | 1.5347 | 1.4109  | 0.1126 | -0.1238 | 0.1755 | -0.7053 |
| 12 | 1.5503 | 1.4790  | 0.1126 | -0.0713 | 0.1755 | -0.4060 |
| 13 | 0.1650 | -0.0825 | 0.1126 | -0.2475 | 0.1755 | -1.4100 |
| 14 | 0.1902 | -0.0617 | 0.1126 | -0.2519 | 0.1755 | -1.4355 |
| 15 | 0.2176 | -0.0114 | 0.1126 | -0.2290 | 0.1755 | -1.3047 |
| 16 | 0.3109 | 0.0567  | 0.1126 | -0.2542 | 0.1755 | -1.4481 |
| 17 | 0.1500 | 0.2946  | 0.1126 | 0.1446  | 0.1755 | 0.8241  |
| 18 | 0.1732 | 0.3154  | 0.1126 | 0.1422  | 0.1755 | 0.8101  |
| 19 | 0.2203 | 0.3657  | 0.1126 | 0.1454  | 0.1755 | 0.8286  |
| 20 | 0.2943 | 0.4339  | 0.1126 | 0.1396  | 0.1755 | 0.7952  |
| 21 | 0.2067 | 0.3349  | 0.1126 | 0.1282  | 0.1755 | 0.7305  |
| 22 | 0.2389 | 0.3556  | 0.1126 | 0.1167  | 0.1755 | 0.6651  |
| 23 | 0.2815 | 0.4060  | 0.1126 | 0.1245  | 0.1755 | 0.7093  |
| 24 | 0.4328 | 0.4741  | 0.1126 | 0.0413  | 0.1755 | 0.2355  |

Si noti altresì come, essendo tutti uguali gli scarti quadratici medi delle stime suddette, il teorema di decomposizione ortogonale della varianza faccia sì che anche lo scarto quadratico medio di tutti gli scarti residui sia sempre uguale e pari a 0.7083.

Infine giova ribadire come i test di validazione dei modelli, quali quelli qui presentati e svolti, permettano di sottoporre a verifica, mediante opportuni controlli e confronti d'ipotesi, le stime effettuate come, del resto, tutti i risultati ottenuti nell'ambito della statistica.

#### Analisi fattoriale

L'analisi fattoriale completa lo studio, in questo caso specifico, iniziato con l'analisi di varianza, effettuando la decomposizione spettrale (cioè separando autovalori ed autovettori) del sistema normale corrispondente, così da stabilire numeri minimi di parametri che sono capaci di spiegare il fenomeno con una certa precisione. Lo stesso studio può altresì essere compiuto mediante la decomposizione ai valori singolari del sistema di equazioni d'osservazione equipeseate, tuttavia questa via, se non necessaria per problemi di stabilità numerica, è computazionalmente più onerosa.

Si osservi, a riguardo, come l'equipesatura delle equazioni d'osservazione sia banale, se il modello stocastico è costituito dai pesi delle equazioni, mentre richieda la radice pari della matrice dei cofattori (ovvero della matrice di covarianza delle osservazioni, a meno del fattore di proporzionalità la cui radice quadrata è solitamente detta sigma zero), se sono presenti correlazioni tra le osservazioni. In ogni caso, come evidente nell'immediato prosieguo, i valori singolari della matrice disegno equipesata  $A_p$  sono la radice quadrata degli autovalori della matrice normale  $C$ :

$$C = R^T A R$$

$$A_p = Q S T$$

dove  $A$  è una matrice diagonale, contenente gli autovalori della matrice normale, ed  $R$  una matrice quadrata ortonormale, contenente gli autovettori della stessa matrice, mentre  $S$  è una matrice rettangolare diagonale (alta) con la stessa forma della matrice disegno, contenente i valori singolari della sopracitata matrice disegno, essendo  $Q$  e  $T$  due matrici quadrate ortonormali di forma prodotto compatibile con la matrice disegno, contenenti gli autovettori della suddetta matrice<sup>2</sup>.

A partire dalla matrice normale, il calcolo degli autovalori può essere molto semplicemente effettuato eseguendo, nell'ordine, una sequenza di due operazioni matriciali, costituite da:

- ❑ una fattorizzazione di Cholesky;
- ❑ un prodotto matriciale dei due fattori di Cholesky commutati,

$$C_1 = C$$

come di seguito riportato:

$$T_i : T_i^T T_i = C_i \quad i = 1, 2, \dots$$

$$C_{i+1} = T_i T_i^T$$

Ad ogni passo, la matrice risultante tende a farsi diagonale, facendo via, via diminuire gli elementi extra – diagonali. Il procedimento iterativo è arrestato, quando l'elemento extra – diagonale più grande è inferiore, in valore assoluto, ad un'opportuna soglia prefissata. Ad es., in questo caso specifico, dato un sistema di 9 equazioni in 9 incognite, derivato da quello scritto per l'analisi di varianza, eliminando l'incognita della media generale ed aggiungendo un numero piccolissimo (pari a  $10^{-5}$  ed uguale alla soglia prefissata) a tutti gli elementi diagonali principali, come condizione di regolarizzazione della soluzione cercata<sup>3</sup>, il procedimento iterativo si è arrestato dopo solo 25 iterazioni con un residuo di 1.588D-05. Si riportano, di seguito, gli autovalori trovati ed i loro valori frazionari, rapportati all'unità riferita alla somma.

| <u>AUTOVALORI E VAL. FRAZIONARI</u> |         |       |   |         |       |
|-------------------------------------|---------|-------|---|---------|-------|
| 1                                   | 1.0D-05 | 0.000 | 5 | 6.0D+00 | 0.833 |
| 2                                   | 1.0D-05 | 0.000 | 6 | 8.0D+00 | 1.111 |
| 3                                   | 6.0D+00 | 0.833 | 7 | 8.0D+00 | 1.111 |
| 4                                   | 6.0D+00 | 0.833 | 8 | 1.2D+01 | 1.667 |
|                                     |         |       | 9 | 2.6D+01 | 3.611 |

Un primo commento prende atto che, tante volte, sono d'interesse solo gli autovalori e non gli autovettori, come spesso solo le varianze principali e non le loro direzioni, ed allora la strada percorsa, davvero così semplice, sembra davvero molto promettente.

<sup>2</sup> Si osservi inoltre come si abbia:  $T=R$  e  $Q=A_p T^T S^*$ , essendo  $S^*$  l'inversa generalizzata di  $S$ , costruita con gli inversi dei valori singolari e ponendo elementi nulli, dove i valori singolari sono nulli, perché lo zero è inverso generalizzato di se stesso; si noti poi la non unicità di  $Q$ , causata dalla non unicità di  $S^*$ , per cui è corretto dire una famiglia di autovettori.

<sup>3</sup> Come noto, esistono ovviamente altre vie alternative, ad es., con l'uso delle matrici inverse generalizzate, ma questa condizione di regolarizzazione della soluzione cercata è innegabilmente molto semplice e ben adatta allo scopo.

Un secondo commento fa riferimento alle dimensioni dei problemi, oggetto di studio, e rileva come l'analisi fattoriale debba essere doverosamente riservata alla selezione di piccoli gruppi di parametri, eventualmente di sotto-problemi, dove ha sicuro interesse.

D'altra parte, non avrebbe senso domandarsi se serve un parametro in più o in meno nella compensazione di una struttura reticolare con decine di migliaia di incognite (ad es., come in un blocco con un gran numero di immagini, oppure in una lunga sequenza sempre di immagini) o nella modellazione digitale di una superficie con centinaia di migliaia di incognite, oppure addirittura nel filtraggio di un'immagine con milioni di incognite.

Infatti in tutti questi casi, le varie incognite hanno anche un significato geometrico e/o fisico specifico, mentre dove la spiegazione è più vaga ed incerta, allora ha senso mettere in gioco alcuni parametri e domandarsi, quale è il numero minimo di parametri per raggiungere una certa spiegazione.

Il calcolo degli autovettori è un po' più complesso e può essere effettuato mediante l'esecuzione ripetuta di tante rotazioni elementari di Jacobi, fino ad ottenere nuovamente la matrice diagonale degli autovalori ed inoltre la matrice degli autovettori, come prodotto destro di tutte le rotazioni elementari di Jacobi (essendo il prodotto sinistro, con la rotazione elementare di Jacobi inversa, la matrice trasposta della matrice degli autovettori trovata). Esso si articola in tre passaggi:

- selezione dell'elemento extra – diagonale massimo, da annullare:

$$-a \sin \alpha \cos \alpha + b \cos^2 \alpha - b \sin^2 \alpha + c \sin \alpha \cos \alpha = 0 \quad \Rightarrow \quad \alpha = \frac{1}{2} \arctan \frac{-2b}{c-a}$$

essendo  $b$  l'elemento extra – diagonale da annullare  
ed  $a, c$  i corrispondenti elementi diagonali principali;

- applicazione della rotazione elementare di Jacobi alla matrice data e via, via trasformata:

detti  $(h, h')$  gli indici dell'elemento da annullare,  
tutti gli elementi restano invariati, tranne quelli appartenenti  
alle righe ed alle colonne  $h, h'$  che sono così modificati:

$$\begin{aligned} c_{hh} &= \cos^2 \alpha c_{hh} + \sin^2 \alpha c_{h'h'} + 2 \sin \alpha \cos \alpha c_{hh'} \\ c_{h'h'} &= \sin^2 \alpha c_{hh} + \cos^2 \alpha c_{h'h'} - 2 \sin \alpha \cos \alpha c_{hh'} \\ c_{hh'} &= 0 \\ c_{ih} &= \cos \alpha c_{ih} + \sin \alpha c_{ih'} \quad \forall i \neq h, h' \\ c_{ih'} &= -\sin \alpha c_{ih} + \cos \alpha c_{ih'} \\ c_{hj} &= \cos \alpha c_{hj} + \sin \alpha c_{h'j} \quad \forall j \neq h, h' \\ c_{h'j} &= -\sin \alpha c_{hj} + \cos \alpha c_{h'j} \end{aligned}$$

dove qui, come al passo precedente, è relativamente facile ottenere tutte le espressioni cercate, facendo uso del prodotto di Kronecker che permette di eseguire velocemente il prodotto di tre matrici,

- prodotto destro delle rotazioni elementari trovate, rimanendo invariati tutti gli altri elementi:

$$\begin{aligned} r_{ih} &= \cos \alpha r_{ih} + \sin \alpha r_{ih'} \\ r_{ih'} &= -\sin \alpha r_{ih} + \cos \alpha r_{ih'} \end{aligned}$$

Ad ogni passo, la matrice risultante annulla l'elemento selezionato, ovvero il massimo elemento extra – diagonale <sup>4</sup>, ancora una volta, facendo diminuire tutti gli elementi extra – diagonali. Il procedimento iterativo è arrestato, quando l'elemento extra – diagonale più grande è inferiore, in valore assoluto, ad un'opportuna soglia prefissata. Ad es., in questo caso specifico, dato lo stesso sistema di 9 equazioni in 9 incognite, il procedimento iterativo si è arrestato dopo ben 91 iterazioni con un residuo di 2.424D-10, avendo dovuto fissare come soglia d'arresto del ciclo iterativo un numero ancora più piccolo, pari a  $10^{-10}$ , pena la non convergenza del procedimento iterativo. Si riporta, di seguito, la matrice degli autovettori trovata.

#### MATRICE DEGLI AUTOVETTORI

|   | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9     |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 1 | 0.454  | 0.158  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.413  | -0.705 | 0.000  | 0.320 |
| 2 | 0.454  | 0.158  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.404  | 0.710  | 0.000  | 0.320 |
| 3 | 0.454  | 0.158  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | -0.816 | -0.005 | 0.000  | 0.320 |
| 4 | -0.437 | 0.280  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.707  | 0.480 |
| 5 | -0.437 | 0.280  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | -0.707 | 0.480 |
| 6 | -0.017 | -0.438 | 0.741  | -0.370 | -0.253 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.240 |
| 7 | -0.017 | -0.438 | -0.670 | -0.453 | -0.310 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.240 |
| 8 | -0.017 | -0.438 | -0.036 | 0.811  | -0.302 | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.240 |
| 9 | -0.017 | -0.438 | -0.035 | 0.012  | 0.865  | 0.000  | 0.000  | 0.000  | 0.240 |

Il calcolo delle componenti principali prevede la soluzione di più sistemi, a partire da quello con tutti gli autovalori trovati (che ovviamente dà proprio la stessa soluzione a minimi quadrati), per proseguire annullando progressivamente alcuni autovalori, incominciando dai più piccoli, così da vedere quanto si degrada via, via la soluzione stessa <sup>5</sup>. Allora con specifico riferimento al caso in esame, di seguito, si riportano le soluzioni alle componenti principali, senza togliere alcun autovalore, togliendo due autovalori nulli, poi altri tre non troppo grandi ed infine altri due un po' più grandicelli. Le soluzioni ottenute mostrano che anche solo 4 parametri bastano a spiegare circa il 75% della variabilità presente nei dati, senza sostanziali perdite di precisione.

#### SOLUZIONI E SQM ALLE COMPONENTI PRINCIPALI

|                             |        |        |        |        |
|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|
| VALORI SINGOLARI ANNULLATI: |        | 2      | 5      | 7      |
| N. EQUAZIONI E INCOGNITE    | 24 – 9 | 24 – 7 | 24 – 4 | 24 – 2 |
| RIDONDANZE:                 | 15     | 17     | 20     | 22     |
| SIGMA ZERO                  | 0.222  | 0.222  | 0.232  | 0.332  |

#### SOLUZIONI E SQM

| 1 | -0.036 | 0.062 | -0.036 | 0.062 | -0.036 | 0.059 | 0.228  | 0.017 |
|---|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| 2 | 0.341  | 0.062 | 0.341  | 0.062 | 0.341  | 0.059 | 0.228  | 0.017 |
| 3 | 0.381  | 0.062 | 0.381  | 0.062 | 0.381  | 0.059 | 0.228  | 0.017 |
| 4 | 0.845  | 0.047 | 0.845  | 0.047 | 0.845  | 0.045 | 0.845  | 0.062 |
| 5 | -0.160 | 0.047 | -0.160 | 0.047 | -0.160 | 0.045 | -0.160 | 0.062 |
| 6 | 0.114  | 0.074 | 0.114  | 0.074 | 0.171  | 0.009 | 0.171  | 0.013 |
| 7 | 0.134  | 0.074 | 0.134  | 0.074 | 0.171  | 0.009 | 0.171  | 0.013 |
| 8 | 0.185  | 0.074 | 0.185  | 0.074 | 0.171  | 0.009 | 0.171  | 0.013 |
| 9 | 0.253  | 0.074 | 0.253  | 0.074 | 0.171  | 0.009 | 0.171  | 0.013 |

<sup>4</sup> Si noti come la ricerca del massimo sia accelerata, memorizzando ad ogni passaggio, successivo al primo, il valore massimo di ogni riga. Infatti poiché l'algoritmo modifica, ad ogni passo, solo due righe e due colonne, basta eseguire un confronto a tre per tutte le righe, tranne quelle modificate, e due confronti completi, limitatamente alle due righe modificate, oltretutto cercare il massimo dei massimi.

<sup>5</sup> Si noti, a riguardo, come l'inverso generalizzato, di minima norma, di un autovalore nullo sia nullo, a sua volta.

## PARTE II – UNA RICOSTRUZIONE DI SUPERFICIE CON UNA LINEA DI DISCONTINUITA'

### Generalità

Nell'ambito della matematica applicata e dell'informatica grafica, la ricostruzione di superficie è una procedura ormai standard, così come l'interpolazione di linee (anche chiuse, anche gobbe, a loro volta, anche chiuse), e può essere condotta con varie metodologie statistiche. Più complesso è invece il caso di una ricostruzione di superficie interessata da linee discontinuità (ad es., linee di rottura, oppure direttrici, ecc.), dove la discontinuità può essere di prima specie (ovvero un salto finito), oppure di prima specie nelle derivate prime della stessa superficie (ovvero, un cambio repentino di pendenza). Una discontinuità nella derivate seconde, sempre della stessa superficie (ovvero un cambio repentino di curvatura), è altrettanto possibile, perché costituisce una brusca variazione tra superfici gradualmente variate (cioè continue, con due derivate continue), ma forse un po' meno rilevante, in questo caso specifico (essendo invece rilevante a livello d'interpolazione di linee, anche per gli eventuali aspetti dinamici connessi).

### Un facile esempio preliminare

Dati due insiemi di punti:  $\{P_i(x_i, y_i), \forall i = 1, m\}$  e  $\{Q_j(x_j, y_j), \forall j = 1, n\}$ , campionati su due porzioni finite di rette, appartenenti ad un unico piano, dove un punto è comune ad entrambi gli insiemi ( $P_k \equiv Q_l$ ), per vari motivi geometrici e/o fisici, sono modellati con due modelli funzionali differenti:

$$y = E(ax + b) \quad \forall P_i \qquad \qquad \qquad e \qquad \qquad \qquad x = E(cy + d) \quad \forall Q_j$$

essendo, invece solitamente, il modello funzionale assunto ipotizzando osservazioni indipendenti e di uguale precisione e, di conseguenza, espresso da una semplicissima matrice identità (in ogni caso comunque, modelli stocastici più sofisticati non richiedono modifiche nella trattazione a seguire).

E' evidente che la forma più semplice per imporre la suddetta coincidenza (cioè  $P_k \equiv Q_l$ ) è espressa dalla uguaglianza delle due coordinate:  $x_k \equiv x_l$  e  $y_k \equiv y_l$ , che si traduce in due equazioni di vincolo o, più semplicemente, in due equazioni di pseudo – osservazione sovrappesate. Eppure proprio queste due semplicissime equazioni, impongono di considerare osservabili, in entrambe le equazioni d'osservazione del sopracitato modello funzionale, tanto le coordinate  $x$ , quanto le coordinate  $y$ . D'altra parte, se come detto i punti appartengono ad un piano (geometrico o topografico, ecc.), forse è proprio corretto considerare osservabili entrambe le coordinate che molto probabilmente sono state rilevate con identiche tecniche di rilevamento. Un discorso diverso potrebbe invece essere fatto per una serie temporale, dove il tempo è misurato con precisioni solitamente ben superiori, rispetto ad altre entità rilevate (ad es., fisiche, ambientali, antropiche, demografiche, urbanistiche, economiche, sociali), ad esso collegate.

Pertanto la linearizzazione dei due modelli funzionali proposti, scritta con le convenzioni dell'analisi matematica, cioè prescindendo dalla formulazione corretta degli stessi modelli funzionali, nonché dalla evidenziazione in essi di quantità osservate, parametri incogniti e numeri, diventa:

$$\tilde{y} + \delta y = (\tilde{a}\tilde{x} + \tilde{b}) + \tilde{a}\delta x + \tilde{x}\delta a + \delta b \qquad \qquad \qquad e \qquad \qquad \qquad \tilde{x} + \delta x = (\tilde{c}\tilde{y} + \tilde{d}) + \tilde{c}\delta y + \tilde{y}\delta c + \delta d$$

Allora essendo evidentemente le nuove incognite le correzioni  $\delta \bullet$ , è necessario procurarsi, per una via qualsiasi, i valori approssimati delle incognite  $\tilde{\bullet}$ , scrivere anche le due uguaglianze di coordinate ( $x_k = x_l$  e  $y_k = y_l$ ) per il punto comune, nelle stesse incognite:

$$\tilde{x}_k + \delta x_k = \tilde{x}_l + \delta x_l \qquad \qquad \qquad e \qquad \qquad \qquad \tilde{y}_k + \delta y_k = \tilde{y}_l + \delta y_l$$

e, nelle stesse incognite, scrivere anche quattro equazioni d'osservazione dirette, per le quattro coordinate osservate dei punti:  $\{P_i, \forall i = 1, m\}$  e  $\{Q_j, \forall j = 1, n\}$ ; oltretutto le uniche equazioni d'osservazione, perché le equazioni delle due rette sono diventate equazioni di vincolo, essendo prive di quantità osservate:

$$\begin{array}{lll} \tilde{x}_k + \delta x_k = x_k^0 & \text{e} & \tilde{y}_k + \delta y_k = y_k^0 \\ \tilde{x}_l + \delta x_l = x_l^0 & \text{e} & \tilde{y}_l + \delta y_l = y_l^0 \end{array}$$

Dopodiché corre il dovere di segnalare innanzitutto due importanti precisazioni, rispettivamente linguistiche e di notazione. Infatti come già detto in precedenza, le equazioni di vincolo sono spesso sostituite, essenzialmente per motivi di praticità, con equazioni di pseudo – osservazioni sovrappesate, capaci anche di esprimere pseudo – osservazioni di peso qualsiasi (inutili in questo caso specifico, ma più generali e particolarmente indicate per modellare parametri di servizio, osservabili secondarie e condizioni geometriche di regolarizzazione). Inoltre una certa libertà espressiva, ha voluto mettere in evidenza, con il simbolo  $\bullet^0$ , dove compaiono le quantità osservate, prescindendo dal mettere in evidenza che, in generale, le stesse non soddisfano le equazioni d'osservazione ed allora è necessario introdurre le variabili, cosiddette scarti – residui ( $v$ ), per correggere le suddette quantità osservate e renderle compatibili con le equazioni d'osservazione ( $\bullet = \bullet^0 + v$ ).

Infine e soprattutto è necessario segnalare che, nelle equazioni d'osservazione diretta, è necessario porre particolare attenzione nella scelta dei valori approssimati delle incognite  $\bullet$ . Infatti una scelta consueta, quasi spontanea, è scegliere questi valori proprio uguali alle corrispondenti quantità osservate:  $\bullet = \bullet^0$ . Gli aggettivi: consueto e spontaneo, appena smorzato dall'avverbio: quasi, ricordano quanto è comune in molte applicazioni geomatiche (ad es., in fotogrammetria analitica nella compensazione della triangolazione aerea a modelli indipendenti con il metodo anblock). Eppure questa scelta porta ad avere tutti i termini noti nulli identicamente e, di conseguenza, a correzioni delle incognite nulle, ovvero a parametri incogniti perfettamente coincidenti con i loro valori approssimati. Tutto ciò può essere vero, in qualche rarissima situazione (ad es., se i punti campionati fossero ottenuti da una digitalizzazione esatta di porzioni di rette, ma allora a cosa servirebbe ricostruirle, bastando farle passare per due soli punti!).

Un'alternativa vantaggiosa prevede che i valori approssimati delle incognite possano essere facilmente calcolati seguendo varie vie, differenti tra loro, ma tali da non produrre tutti i termini noti identicamente nulli, quali ad esempio:

- ❑ far passare le rette per due loro punti qualsiasi ed interpolare gli altri a posteriori: allora due termini noti sono nulli, ma non tutti gli altri, in generale;
- ❑ calcolare separatamente le rette a minimi quadrati, cosicché tutti i termini noti siano piccoli (se non sono presenti dati anomali negli insiemi di punti), ma nessuno nullo, in generale;
- ❑ calcolare separatamente le rette mediante opportune procedure robuste (se si sospetta la presenza di dati anomali): allora al più due termini noti sono nulli, ma non tutti gli altri, in generale;
- ❑ scegliere valori approssimati qualsiasi, purché prossimi, cosicché tutti i termini noti siano non – nulli, anche se la convergenza ai valori attesi potrebbe essere più lenta.

Da ultimo, si osservi come l'intera procedura sia non – lineare e, in ogni caso, richieda di procedere a successive iterazioni, al fine di giungere alla convergenza ai valori attesi, controllata spesso con una norma dell'estremo superiore od altrimenti fermata per mancata convergenza.

### La ricostruzione di un DSM con una linea di rottura

Completata la presentazione di un esempio preliminare, è possibile procedere ad illustrare, in



parallelo, la ricostruzione di una superficie con linee di discontinuità, senza precisare la forma analitica del modello funzionale adottato (per motivi di generalità della trattazione) e la ricostruzione di un DSM (cioè un modello digitale di superficie), con una funzione cubica cilindrica in una direzione e quadratica nell'altra ortogonale, percorsa da una linea di rottura piana (ma sarebbe stato ugualmente possibile studiarla gobba, se l'esempio illustrato numericamente, nel seguito, l'avesse permesso), studiata attraverso una spezzata di linee rette. La scelta di affiancare, da subito, nella sua forma analitica, l'esempio proposto serve a chiarire ulteriormente quanto potrebbe apparire troppo ermetico, nella modellazione fatta prescindendo dalla forma analitica del modello funzionale adottato. D'altra parte, la generalità della trattazione intende chiarire, come quanto trattato non trovi limitazioni di sorta con metodi deterministici o stocastici, oppure misti. Pertanto la ricostruzione di una generica superficie e quella del sopraccitato DSM presentano i due seguenti modelli funzionali, a loro volta, facilmente linearizzati (avendo indicato con la lettera  $h$  il generico parametro di un generico modello):

$$\begin{aligned}
 z &= g(x, y) & \tilde{z} + \delta z &= \tilde{g} + \sum_i g_{h_i} \delta h_i + g_x \delta x + g_y \delta y \\
 z &= a + (bx + cx^2 + dx^3) + (ey + fy^2) \\
 \tilde{z} + \delta z &= ((\tilde{b}\tilde{x} + \tilde{c}\tilde{x}^2 + \tilde{d}\tilde{x}^3) + (\tilde{e}\tilde{y} + \tilde{f}\tilde{y}^2)) + a + \tilde{x}\delta b + \tilde{x}^2\delta c + \tilde{x}^3\delta d + \tilde{y}\delta e + \tilde{y}^2\delta f + \\
 &\quad + (\tilde{b} + 2\tilde{c}\tilde{x} + 3\tilde{d}\tilde{x}^2)\delta x + (\tilde{e} + 2\tilde{f}\tilde{y})\delta y
 \end{aligned}$$

Analogamente l'interpolazione di generiche linee di discontinuità e quella della sopraccitata linea di rottura presentano i due seguenti modelli funzionali, ancora facilmente linearizzati (avendo indicato con la lettera  $s$  l'ascissa curvilinea della linea in esame):

$$\begin{aligned}
 \begin{cases} x = f(s) \\ y = g(s) \\ z = h(s) \end{cases} & \quad \begin{cases} \tilde{x} + \delta x = \tilde{f} + \sum_i f_{f_i} \delta f_i + f_s \delta s & \tilde{y} + \delta y = \tilde{g} + \sum_i g_{g_i} \delta g_i + g_s \delta s \\ \tilde{z} + \delta z = \tilde{h} + \sum_i h_{h_i} \delta h_i + h_s \delta s \end{cases} \\
 \begin{cases} x = p_j + q_j y \quad \forall j \\ z = f.data \end{cases} & \quad \begin{cases} \tilde{x} + \delta x = \tilde{q}_j \tilde{y} + p_j + \tilde{y} \delta q_j + \tilde{q}_j \delta y \quad \forall j \\ \tilde{z} + \delta z = f.data \end{cases}
 \end{aligned}$$

Dopodiché per completare entrambi i modelli funzionali, occorre introdurre le equazioni d'osservazione dirette per le coordinate dei due insiemi di dati, campionati rispettivamente per una ricostruzione di superficie e l'interpolazione di linee di discontinuità (dove il simbolo  $\bullet^0$  serve ancora ad indicare quantità osservate):

$$\begin{aligned}
 \begin{cases} x = x^0 \\ z = z^0 \end{cases} & \quad ; \quad y = y^0 & \quad \begin{cases} \tilde{x} + \delta x = x^0 \\ \tilde{z} + \delta z = z^0 \end{cases} & \quad ; \quad \tilde{y} + \delta y = y^0
 \end{aligned}$$

Inoltre per riunire in un unico sistema la ricostruzione di superficie e l'interpolazione di linee di discontinuità, è necessario scrivere anche le equazioni di vincolo (ovvero e meglio le equazioni di pseudo – osservazione sovrappesate), relativamente alle coordinate comuni nei due insiemi:

$$\begin{aligned}
 \begin{cases} x_k \equiv x_l \\ y_k \equiv y_l \\ z_k \equiv z_l \end{cases} & \quad \text{con} \quad \begin{cases} P_k \in \{P_l\} \\ Q_l \in \{Q_j\} \end{cases} & \quad \begin{cases} \tilde{x}_k + \delta x_k \equiv \tilde{x}_l + \delta x_l \\ \tilde{y}_k + \delta y_k \equiv \tilde{y}_l + \delta y_l \\ \tilde{z}_k + \delta z_k \equiv \tilde{z}_l + \delta z_l \end{cases}
 \end{aligned}$$

Infine è proprio indispensabile e fondamentale ripetere quanto già sottolineato a proposito della ricerca dei valori approssimati delle coordinate approssimate. Infatti essendo solo le equazioni d'osservazioni dirette le uniche equazioni contenenti quantità osservate, è necessario fare attenzione a non costruire tutti i termini noti identicamente nulli, così come accadrebbe, se si scegliessero, quali valori approssimati delle coordinate approssimate, proprio le stesse quantità osservate delle coordinate dei punti. Invece se i valori approssimati delle coordinate approssimate sono ottenute, ad esempio, eseguendo separatamente la ricostruzione di superficie e l'interpolazione delle linee di discontinuità, con il metodo dei minimi quadrati, allora tutti i termini noti sono piccoli (se non sono presenti dati anomali negli insiemi di punti), ma nessuno nullo, in generale. Ovviamente altre procedure sono ammissibili, come già detto in precedenza, bastando solo non ottenere tutti i termini noti identicamente nulli.

### **Un esempio numerico**

La ricostruzione di una superficie di variazioni d'altezza, tra giorno e notte, di una lastra in calcestruzzo e l'interpolazione di una linea di rottura che purtroppo percorre, quasi al centro, la lastra stessa costituiscono un esempio reale, utile per mettere in evidenza i risultati numerici ottenuti. A riguardo, è opportuno fare alcune precisazioni. Il rilevamento dei punti è ben lungi dall'essere ottimale: sembra fatto da un geometra, senza un preciso progetto di uno schema di rilievo adeguato, oppure anche da un ingegnere, ma con la cultura di un geometra (e non dei migliori!). D'altra parte, questo è un esempio reale e, di conseguenza, è stato preferito ad un, forse perfetto, esempio simulato ad arte. Invece pur nella sua semplicità l'esempio è abbastanza invasivo, cosicché una scelta ragionevole intende presentare solo pochi risultati, tra i più significativi, rinunciando a riportare lunghissimi ed illeggibili elenchi di numeri che potrebbero solo invitare a saltare la loro lettura.

Un discorso preliminare riprende un'osservazione già formulata, almeno in parte, se i punti appartengono ad uno spazio 3D (geometrico o topografico, ecc.), allora è più corretto considerare osservabili le tre coordinate che molto probabilmente sono state rilevate con identiche tecniche di rilevamento. Infatti mentre le più antiche tecniche topografiche separavano planimetria ed altimetria, dove accuratezza e precisione della seconda erano ben inferiori a quelle della prima, tutto ciò non è più vero con le più moderne tecniche geodetiche. In questo caso, il GPS ed altre tecniche geospaziali sono essenzialmente 3D ed accuratezza e precisione di planimetria ed altimetria sono pressoché comparabili (e comunque non tali da considerare la planimetria come quasi certa, rispetto ad un'altimetria da modellare statisticamente). Inoltre lo strettissimo legame tra geodesia e topografia, dato soprattutto dall'impiego del GPS, estende il discorso anche alle scale grandissime ed agli oggetti fuori dagli ambiti geodetici.

Lo stesso discorso può essere fatto per il rilevamento fotogrammetrico. Infatti mentre la fotogrammetria terrestre antica (fatta con camere lucide e fototeodoliti) separava planimetria ed altimetria, differenziandole per quanto riguarda precisione ed accuratezza, la fotogrammetria aerea e terrestre moderna supera questa separazione. Essa è superata, in fotogrammetria aerea, già con immagini analogiche, purché lo schema di ripresa realizzi angoli retti tra raggi omologhi, e la stessa separazione si mantiene con immagini digitali, sotto le stesse condizioni di presa. La stessa separazione è superata, in fotogrammetria terrestre, in particolare con immagini digitali. Inoltre se le condizioni di presa realizzano angoli retti tra raggi omologhi, allora accuratezza e precisione sono comparabili anche per la coordinata terrestre che esprime la profondità di campo. Infine data la sempre maggiore vicinanza tra fotogrammetria digitale e telerilevamento (compreso il cosiddetto proximal sensing), il discorso fatto è naturalmente esteso.

Un secondo discorso riguarda la distinzione tra errori d'osservazione ed errori di modello (cui appellarsi per fare una separazione). Tuttavia anche questo discorso, pur certamente non trascurabile, viene meno in molti casi, come di seguito riportato:

- ❑ modelli digitali di superficie (DSM) oggetti non geodetici;

- ☐ modelli digitali di superficie (DSM) per manufatti, rappresentati a grandissima scala;
- ☐ modelli digitali delle altezze (DEM) con:
  - ☐ linee dritetti e/o di rottura;
  - ☐ descrittori di forma;
  - ☐ trasformazioni tra diversi sistemi di riferimento;
  - ☐ mapping figure, mappe e/o modelli 3D;
  - ☐ matching di immagini;
  - ☐ approcci integrati;
- ☐ modelli digitali di parametri morfologici (DTM);
- ☐ modelli digitali, diversi da serie temporali (per le quali si è già detto), di altre grandezze.

Infine resta da precisare la sopracitata distinzione, tra errori di misura ed errori di modello, in quanto i primi sono dovuti tecnologie di rilevamento, mentre i secondi a problemi di modellazione, ovvero alla scelta di metodologie e procedure della statistica (deterministiche o stocastiche, oppure miste).

#### OSSERVAZIONI DEFORMATA

| Punto | X        | Y        | $\Delta Z$ |                                   |
|-------|----------|----------|------------|-----------------------------------|
| 1     | 0.000    | 0.000    | 8.000      |                                   |
| 2     | 0.000    | 7500.000 | 11.000     |                                   |
| 3     | 295.000  | 3675.000 | 6.000      |                                   |
| 4     | 775.000  | 3675.000 | 4.000      |                                   |
| 5     | 1255.000 | 3675.000 | 3.000      |                                   |
| 6     | 2220.000 | 3675.000 | 2.000      |                                   |
| 7     | 3190.000 | 3675.000 | 3.000      |                                   |
| 8     | 3660.000 | 3675.000 | 4.000      | N. DATI 1 <sup>a</sup><br>SERIE 8 |
| 9     | 4640.000 | 3675.000 | 2.000      |                                   |
| 10    | 5610.000 | 3675.000 | 2.000      |                                   |
| 11    | 6575.000 | 3675.000 | 5.000      |                                   |
| 12    | 7065.000 | 3675.000 | 7.000      |                                   |
| 13    | 7500.000 | 0.000    | 7.000      |                                   |
| 14    | 7500.000 | 7500.000 | 9.000      | N. DATI 2 <sup>a</sup><br>SERIE 7 |

#### OSSERVAZIONI FESSURA

| Punto | X        | Y        | $\Delta Z$ |                                    |
|-------|----------|----------|------------|------------------------------------|
| 1     | 3257.000 | 0.000    | 4.300      |                                    |
| 2     | 3247.000 | 280.000  | 4.100      |                                    |
| 3     | 3174.000 | 760.000  | 4.000      |                                    |
| 4     | 3096.000 | 1240.000 | 3.900      | N. DATI 1 <sup>o</sup><br>GRUPPO 4 |
| 5     | 3105.000 | 1720.000 | 3.900      |                                    |
| 6     | 3214.000 | 210.000  | 3.900      |                                    |
| 7     | 3323.000 | 2695.000 | 4.000      |                                    |
| 8     | 3497.000 | 3175.000 | 4.000      |                                    |
| 9     | 3542.000 | 3230.000 | 4.000      |                                    |
| 10    | 3660.000 | 3675.000 | 4.000      | N. DATI 2 <sup>o</sup>             |

|    |          |          |       |                        |
|----|----------|----------|-------|------------------------|
|    |          |          |       | GRUPPO 7               |
| 11 | 3649.000 | 4130.000 | 4.000 |                        |
| 12 | 3571.000 | 4610.000 | 4.000 |                        |
| 13 | 3542.000 | 4775.000 | 4.000 |                        |
| 14 | 3498.000 | 5095.000 | 4.000 |                        |
| 15 | 3434.000 | 5575.000 | 3.900 | N. DATI 3°<br>GRUPPO 6 |
| 16 | 3446.000 | 6060.000 | 3.900 |                        |
| 17 | 3490.000 | 6540.000 | 3.900 |                        |
| 18 | 3575.000 | 7020.000 | 4.000 | N. DATI 4°<br>GRUPPO 4 |
| 19 | 3550.000 | 7295.000 | 4.100 |                        |
| 20 | 3549.000 | 7500.000 | 4.200 | N. DATI 5°<br>GRUPPO 3 |

**INTERPOLAZIONE DEFORMATA**

SIGMA ZERO 0.165  
 N.CONDIZIONE 1.2E+24  
 N. OSSERVAZIONI 16  
 N. PARAMETRI 12  
 RIDONDANZA 4

**INTERPOLAZIONE FESSURA**

SIGMA ZERO 40.724  
 N.CONDIZIONE 5.0D+11  
 N. OSSERVAZIONI 28  
 N. PARAMETRI 10  
 RIDONDANZA 18

**INTERPOLAZIONE CONGIUNTA**

SIGMA ZERO 24.224  
 N.CONDIZIONE 2.3D+26  
 N. OSSERVAZIONI 188  
 N. PARAMETRI 139  
 RIDONDANZA 49

**PARAMETRI E SQM (PRIMA E SECONDA SERIE)**

| Parametro | 1ª serie  | sqm      | 2ª serie  | sqm      |
|-----------|-----------|----------|-----------|----------|
| 00        | -1.45E-08 | 2.42E+01 | -1.13E-04 | 2.57E-02 |
| 01        | 7.41E-04  | 1.00E-01 | 1.51E-08  | 3.37E-06 |
| 02        | -5.92E-07 | 5.88E-05 | -1.94E+01 | 1.23E+03 |
| 03        | 1.24E-10  | 9.66E-09 | 8.17E-03  | 7.13E-01 |
| 10        | -1.13E-04 | 2.57E-02 | -9.55E-07 | 1.36E-04 |
| 20        | 1.51E-08  | 3.37E-06 | 2.84E-11  | 8.40E-09 |

**PARAMETRI E SQM (PRIMO, SECONDO, TERZO, QUARTO E QUINTO GRUPPO)**

| Parametro | 1° gruppo | sqm      | 2° gruppo | sqm      | 3° gruppo | sqm      |
|-----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|
| 0         | 3.28E+03  | 3.16E-03 | 2.74E+03  | 3.37E-03 | 4.04E+03  | 1.15E-02 |
| 1         | 3.36E+00  | 1.47E+01 | -4.50E+00 | 6.76E+01 | 4.84E+00  | 4.10E+02 |

| Parametro | 4° gruppo | sqm      | 5° gruppo | sqm      |
|-----------|-----------|----------|-----------|----------|
| 0         | 2.98E+03  | 5.71E-02 | 3.73E+03  | 2.42E+01 |
| 1         | 8.30E-02  | 2.42E+01 | -2.43E-02 | 2.42E+01 |

**OSSERVAZIONI DIRETTE E SQM (DEFORMATA)**

| Punto | Deformata | X        | sqm    | Y        | sqm    | ΔZ     | sqm    |
|-------|-----------|----------|--------|----------|--------|--------|--------|
| 1     | 0.000     | 0.000    | 24.224 | 0.000    | 24.224 | 8.000  | 24.224 |
| 2     | 0.000     | 0.000    | 24.224 | 7500.000 | 24.224 | 11.000 | 24.224 |
| 3     | 295.000   | 295.000  | 24.224 | 3675.000 | 24.224 | 5.958  | 23.179 |
| 4     | 775.000   | 775.001  | 24.224 | 3675.000 | 24.224 | 4.064  | 15.864 |
| 5     | 1255.000  | 1255.000 | 24.224 | 3675.000 | 24.224 | 3.030  | 18.110 |
| 6     | 2220.000  | 2220.000 | 24.224 | 3675.000 | 24.224 | 1.870  | 18.668 |
| 7     | 3190.000  | 3190.000 | 24.224 | 3675.000 | 24.224 | 3.148  | 17.627 |
| 8     | 3660.000  | 3660.081 | 3.339  | 3684.254 | 10.665 | 4.645  | 11.929 |
| 8     | 3660.000  | 3660.081 | 3.339  | 3684.254 | 10.665 | 4.645  | 11.929 |
| 9     | 4640.000  | 4640.000 | 24.224 | 3675.000 | 24.224 | 4.327  | 21.485 |
| 10    | 5610.000  | 5609.999 | 24.224 | 3675.000 | 24.224 | 4.932  | 17.493 |
| 11    | 6575.000  | 6575.001 | 24.224 | 3675.000 | 24.224 | 7.643  | 18.323 |
| 12    | 7065.000  | 7065.002 | 24.224 | 3675.000 | 24.224 | 9.205  | 18.502 |
| 13    | 7500.000  | 7499.999 | 24.224 | 0.000    | 24.224 | 7.173  | 23.578 |
| 14    | 7500.000  | 7500.000 | 24.224 | 7500.000 | 24.224 | 11.043 | 24.189 |

Ridondanze locali:

(1) 0.000      (2) 0.000      (3) 0.084      (4) 0.571      (5) 0.441  
 (6) 0.406      (7) 0.470      (8) 0.758  
 (8) 0.758      (9) 0.213      (10) 0.479      (11) 0.428      (12) 0.417      (13) 0.053      (14) 0.053

**OSSERVAZIONI DIRETTE E SQM (FESSURA)**

| Punto | Fessura  | X        | sqm    | Y        | sqm    | ΔZ     | sqm    |
|-------|----------|----------|--------|----------|--------|--------|--------|
| 1     | 3257.000 | 3259.065 | 11.860 | 5.532    | 23.884 | 4.884  | 24.224 |
| 2     | 3247.000 | 3250.379 | 11.095 | 277.431  | 23.870 | 4.687  | 24.224 |
| 3     | 3174.000 | 3177.654 | 9.808  | 753.861  | 23.850 | 4.884  | 24.224 |
| 4     | 3096.000 | 3095.882 | 7.514  | 1251.431 | 14.433 | 5.013  | 17.129 |
| 4     | 3096.000 | 3095.882 | 7.514  | 1251.431 | 14.433 | 5.013  | 17.129 |
| 5     | 3105.000 | 3099.043 | 9.077  | 1707.012 | 23.591 | 5.126  | 24.224 |
| 6     | 3214.000 | 3207.557 | 8.087  | 2194.425 | 23.569 | 4.994  | 24.224 |
| 7     | 3323.000 | 3316.138 | 7.264  | 2677.121 | 23.553 | 4.975  | 24.224 |
| 8     | 3497.000 | 3493.468 | 6.663  | 3170.123 | 23.542 | 4.527  | 24.224 |
| 9     | 3542.000 | 3540.269 | 6.610  | 3232.406 | 23.541 | 4.411  | 24.224 |
| 10    | 3660.000 | 3660.081 | 3.339  | 3684.254 | 10.665 | 4.645  | 11.929 |
| 10    | 3660.000 | 3660.081 | 3.339  | 3684.254 | 10.665 | 4.645  | 11.929 |
| 11    | 3649.000 | 3650.381 | 4.485  | 4124.267 | 24.089 | 3.814  | 24.224 |
| 12    | 3571.000 | 3571.760 | 4.666  | 4607.046 | 24.090 | 3.723  | 24.224 |
| 13    | 3542.000 | 3542.522 | 4.850  | 4773.233 | 24.090 | 3.679  | 24.224 |
| 14    | 3498.000 | 3498.198 | 5.352  | 5094.237 | 24.091 | 3.540  | 24.224 |
| 15    | 3434.000 | 3433.421 | 6.075  | 5578.475 | 16.982 | 3.066  | 17.129 |
| 15    | 3434.000 | 3433.421 | 6.075  | 5578.475 | 16.982 | 3.066  | 17.129 |
| 16    | 3446.000 | 3445.245 | 6.646  | 6057.288 | 24.147 | 2.652  | 24.224 |
| 17    | 3490.000 | 3489.605 | 10.128 | 6537.605 | 24.155 | 2.104  | 24.224 |
| 18    | 3575.000 | 3575.240 | 14.806 | 7021.242 | 17.115 | -1.283 | 17.129 |
| 18    | 3575.000 | 3575.240 | 14.806 | 7021.242 | 17.115 | -1.283 | 17.129 |
| 19    | 3550.000 | 3550.085 | 12.959 | 7295.062 | 24.219 | -4.138 | 24.224 |
| 20    | 3549.000 | 3548.951 | 21.197 | 7499.965 | 24.222 | -4.142 | 24.224 |

Ridondanze locali:

|            |            |            |            |            |            |            |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|            |            | (1) 0.028  | (2) 0.029  | (3) 0.031  | (4) 0.645  |            |
| (4) 0.645  | (5) 0.052  | (6) 0.053  | (7) 0.055  | (8) 0.055  | (9) 0.056  | (10) 0.806 |
| (10) 0.806 | (11) 0.011 | (11) 0.011 | (13) 0.011 | (14) 0.011 | (15) 0.509 |            |
|            | (15) 0.509 | (16) 0.006 | (17) 0.006 | (18) 0.501 |            |            |
|            | (18) 0.501 | (19) 0.000 | (20) 0.000 |            |            |            |

Un discorso conclusivo riprende il giudizio, già formulato, sul rilevamento dei punti, ben lungi dall'essere ottimale. Infatti questo dato di fatto si riflette sulle ridondanze e quelle locali, come pure su sigma zero e gli sqm delle stime ottenute, nonché sul numero di condizione. Tutto ciò significa:

- ❑ quasi impossibilità di identificare eventuali errori grossolani (per l'inaffidabilità dello schema di misura) e scarsa stabilità della soluzione ottenuta (a causa del cattivo condizionamento);
- ❑ bassa precisione delle stime (dovuta alla propagazione di covarianza, oltreché a sigma zero).

D'altra parte, tutte queste validissime considerazioni non inficiano minimamente le ragioni per l'applicazione della metodologia presentata che potrà essere impiegata con esempi migliori, ma che non dovrà essere modificata, da un esempio ad un altro, essendo unica l'intera procedura <sup>6</sup>.

**Bibliografia**

1. Cressie N.A. (1991): Statistics for Spatial Data. John Wiley and Sons, New York.
2. Davies O.L. (1960): The Design and Analysis of Industrial Experiments. Oliver and Boyd, Londra.
3. Davies O.L. (1961): Statistical Methods in Research and Production. Oliver and Boyd, Londra.
4. Draper N.R., Smith H. (1981): Applied Regression Analysis. Wiley and Sons, New York.
5. Fischer F.E. (1973): Fundamental Statistical Concepts. Canfield Press, San Francisco.
6. Golub G.H., van Loan C.F. (1983): Matrix computation. North Oxford Academic, Oxford.
7. Gentle J.E., Kennedy W.J. (1980): Statistical computing. Dekker, Basilea.
8. George A., Liu J.W.H. (1981): Computer solution of large sparse positive definite systems. Prentice Hall, Englewood Cliffs (NJ).
9. Hampel F.R., Ronchetti E.M., Rousseeuw P.J., Stahel W.A. (1986): Robust Statistics. The Approach Based on Influence Functions. Wiley & Sons, New York.
10. Hawkins D.M. (1980): Identification of outliers. Chapman and Hall, Londra.
11. Huber P.J. (1981): Robust Statistics. Wiley & Sons, New York.
12. Kaufman L., Rousseeuw P.J. (1990): Finding Groups in Data. Wiley & Sons, New York.
13. Koch K.R. (1987): Parameter Estimation and Hypothesis Testing in Linear Models. Springer, Berlino.
14. Lawson G.L., Handson R.J. (1974): Solving least squares problems. Prentice Hall, Englewood Cliffs (NJ).
15. Meissl P. (1982): Least Squares Adjustment a Modern Approach. Mitteilungen der geodätischen Institute der Technischen Universität Graz, Folge 43, Graz.
16. Mikhail E.M., Ackermann F. (1976): Observations and Least Squares. IEP-A Dun-Donnelley Publisher, New York.
17. Moritz H. (1980): Advanced Physical Geodesy. Wichmann, Karlsruhe.
18. Rousseeuw P.J., Leroy A.M. (1987): Robust Regression and Outlier Detection. Wiley & Sons, New York.
19. Sachs L. (1984): Applied Statistics. A handbook of Techniques. Springer, New York.
20. Varga M.S. (1962): Matrix iterative analysis. Prentice Hall, Englewood Cliffs (NJ).

<sup>6</sup> Un doveroso ringraziamento è indirizzato al Prof. Giovanni Battista Benciolini dell'Università degli Studi di Trento per gli utili consigli forniti sulla miglior via per mettere correttamente in atto l'analisi fattoriale.



## **METODOLOGIA di Stima dei potenziali regionali da fonti rinnovabili e per l'efficienza energetica, e azioni per il raggiungimento degli obiettivi UE 20-20-20 al 2020**

A. Forni (\*), N. Colonna (\*), R. Del Cielo (\*), A. Disi (\*), V. Iaboni (\*), E. Mancuso (\*),  
C. Notaro (\*), I. Olivetti (\*), N. Torrez (\*\*), C. Vieri (\*)

(\*) ENEA Lungotevere Thaon di Revel 76, 00196 Roma, 06/36271 [www.enea.it](http://www.enea.it)

(\*\*) ICTP International Centre for Theoretical Physics Strada Costiera 11, 34014 Trieste, Italy, Tel. +39 040 2240 111

### **PREMESSA**

Il raggiungimento degli obiettivi UE al 2020, definiti strategia del 20-20-20, hanno visto vari interventi nazionali di incentivazione e di *policy*, ed oggi stanno coinvolgendo le istituzioni regionali, in termini di obblighi/opportunità.

Ognuna di esse ha quindi dovuto produrre delle stime dei potenziali possibili sul proprio territorio, di risparmio energetico, di produzione di energia da fonti rinnovabili e di riduzione delle emissioni.

Lo studio ha affrontato l'insieme dei problemi con un gruppo molto numeroso, proponendo una metodologia atta definire le policy regionali, basata sulla connessione tra tecnologie possibili e territorio, usando una strumentazione innovativa, anche GIS, e relazionando le banche dati esistenti. L'idea guida del gruppo di lavoro è stata infatti che essendo ormai superato il livello minimo di efficienza delle tecnologie energetiche sostenibili esistenti, ciò che fa premio sulla loro diffusione/utilizzazione sono le "problematiche gestionali" legate alla dimensione territoriale.

In particolare questo ha comportato la proposta di introduzione di indicatori energetici territoriali nello schema pianificatorio regionale vigente, da utilizzare sia nei processi autorizzativi che nelle scelte di incentivazione delle singole tecnologie e della conoscenza ad esse collegata.

Lo studio ha prodotto un rapporto contenente:

- una valutazione del potenziale regionale di valorizzazione di ognuna delle fonti rinnovabili (solare, biogas, biomasse, ivi compresi i rifiuti, anche biodegradabili, e i residui o sottoprodotti dell'agricoltura e dell'allevamento, eolica), tenendo anche conto dell'attuale livello di produzione di energia da ognuna di tali fonti;
- una ipotesi di quantificazione del contributo regionale agli obiettivi comunitari di sviluppo delle fonti rinnovabili, di riduzione delle emissioni di gas serra e di risparmio energetico al 2020 (c.d. obiettivi 20-20-20) accompagnata da una indicazione qualitativa e, laddove possibile, quantitativa, delle misure da attuare in ambito regionale per raggiungere tali obiettivi.

In particolare dalle analisi è emerso che senza una "razionalizzazione degli interventi" non sarà semplice raggiungere gli obiettivi: dove per razionalizzazione si intende la necessità di rendere "ripetibili ed ad alta efficacia, anche nel campo della conoscenza, le policy localizzative e di incentivazione".

Dallo studio è emerso che il mercato ha già creato le tecnologie, che a loro volta hanno stimolato l'interesse del sistema economico e, quindi, creato opportunità di accesso a finanziamenti. Quello che serve ora è una continuità decisionale, legata all'utilizzazione delle tecnologie attraverso "il consenso sociale e territoriale", ed attraverso la creazione/formazione di una "capability scientifica territoriale" di supporto alle decisioni.

Nello specifico dell'efficienza energetica ed il risparmio energetico nel settore residenziale lo studio ha evidenziato che per una corretta definizione dei potenziali occorre una stringente e innovativa dotazione strumentale, la cui dimensione culturale deve essere fruibile dalle istituzioni regionali, in grado di gestire le caratteristiche del patrimonio edilizio e le forme urbane su cui si inseriscono.

Appaiono infatti nella gestione della "città" grandi e obbligati cambiamenti, che i prg attuali non prendono nemmeno in considerazione né misurano.

Mentre la stima dei potenziali eolico e solare e biomasse (compresi i rifiuti), necessitano di strumentazione GIS ad alta definizione, in grado di fare condividere gli impianti proposti con gli altri usi del territorio.

Infine la definizione di una *policy* regionale (sia di sviluppo che di riduzione delle emissioni di gas serra) richiede una strumentazione di analisi economica ad alta innovazione, che non tutte le comunità scientifiche locali posseggono, e che va sviluppata e supportata, superando l'erronea convinzione che essa si collochi nella sfera della ricerca teorica.

Nel presente lavoro si illustra nel dettaglio la metodologia usata per il calcolo del potenziale solare.

## **METODOLOGIA DI CALCOLO DEL POTENZIALE SOLARE DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA**

### **1. INTRODUZIONE:**

L'obiettivo della metodologia utilizzata è quello della valutazione e definizione delle potenzialità di sviluppo degli impianti ad energia solare fotovoltaici nelle aree oggetto di analisi e l'applicazione di tale valutazione alla pianificazione ambientale. Questo obiettivo si caratterizza come nuovo campo di ricerca dell'ENEA, sin dagli anni 2006-2007, al fine di definire una validità scientifica alle basi metodologiche utilizzate nelle distinte attività di analisi di incidenza spaziale dei fenomeni sociali, ambientali ed economici connessi alla diffusione delle fonti di energia rinnovabile.

La metodologia, quindi, applica un modello sperimentale validato e ripetibile, sia in termini di costi che in termini di validità scientifica dei risultati, per la valutazione della sostenibilità di aree mediante il modello DPSIR, utilizzando i diversi *tool* disponibili nei Sistemi di Informazione Geografica (GIS). Si sono utilizzate le diverse potenzialità di un GIS come strumento di analisi e trattamento dei dati, al fine di avere la possibilità di relazionare i dati alfanumerici, raster e altro, a unità spaziali mediante le coordinate geografiche.

Un punto di forza di un Sistema di Informazione Geografica è la sua capacità di realizzare carte tematiche come strumenti di base contenenti le informazioni relative alle aree di sviluppo: criterio già ampiamente accettato in sede istituzionale dalla Comunità Europea. In particolare, offre la possibilità di seguire il processo di evoluzione degli aspetti ambientali e l'integrazione di questi con le differenti politiche sociali.

Infine, questa metodologia si colloca nel solco di quanto deciso nel Consiglio Europeo di Göteborg (giugno del 2001) ove si stabilisce la Strategia di Sviluppo Sostenibile dell'UE. Detta strategia aggiunga la dimensione ambientale agli aspetti sociali ed economici dello sviluppo sostenibile definiti nel Consiglio Europeo di Stoccolma, del marzo 2001, che riprendeva quanto acquisito dalla Strategia di Lisbona (Consiglio Europeo straordinario di Lisbona di marzo di 2000).

A questo si collega l'interesse manifestato dalle istituzioni europee internazionali, nazionali e locali, per lo sviluppo di mezzi che permettano di integrare tutti gli indicatori ambientali, socio economici e territoriali alle distinte politiche settoriali.

Con questa applicazione si è voluto analizzare la possibilità di progettare e applicare "modelli di analisi del potenziale di insolazione ad alta risoluzione per area vasta" e l'applicazione degli stessi a piani e progetti di efficienza energetica, basati sia sul risparmio che sulla diffusione delle FER (fonti energia rinnovabile) e alle tecnologie ad esse collegate.

Le scuole di pensiero scientifico che si occupano di piani e progetti di efficienza energetica e uso delle FER, basano i loro approcci generalmente sui seguenti punti metodologici:

1. analisi della domanda settoriale di energia (qualitativa e quantitativa),
2. analisi delle problematiche di uso dell'energia nei singoli punti di consumo (tipicamente impianti ed oggi anche strutture edilizie),
3. analisi della offerta tramite stime delle prestazioni delle tecnologie applicabili ai singoli casi.

Sottolineando, sinteticamente, che i tre punti sopra citati andrebbero sempre svolti in modo concomitante, si evidenzia che vanno bene quando si tratta di operare innesti tecnologici in situazioni puntiformi e di mercato non estreme. Nella situazione attuale del settore energia caratterizzata da:

- rapida variazione del mercato energetico e delle tecnologie
- necessità di modifiche dei consumi in tempi stretti
- necessità di supporti programmatici e di finanziamenti mirati alle imprese e cittadini
- necessità di massimizzare l'efficienza (rapporto costi-benefici) per gli interventi finanziati

occorre, invece, implementare le analisi suddette attraverso:

- a) una analisi del potenziale energetico solare del territorio;
- b) una stima della distribuzione territoriale di massima efficacia di piani e programmi di sviluppo di impianti per l'energia solare, sia nel residenziale che nei settori produttivi.

Nell'applicazione da noi fatta questi due nuovi elementi vengono considerati ai fini della definizione del potenziale energetico e, tra l'altro, la metodologia, usata, si è basata sull'uso correlato di tre tipologie di indicatori:

1. indicatori georeferenziati da dati climatologici
2. indicatori morfologici: pendenza e orientamento delle superfici
3. indicatori socioeconomici

## **2. STIMA DELLA RADIAZIONE SOLARE GLOBALE**

La radiazione solare che arriva alla Terra ed il conseguente bilancio di irradiazione del pianeta sono la chiave per l'evoluzione della vita come per l'esistenza dei diversi ecosistemi (Gates 1980).

Esistono distinte variabili relazionate alla quantità di luce solare che incide su qualunque punto sulla superficie del pianeta, come: l'epoca dell'anno che determina l'ubicazione della Terra durante la sua orbita attorno al Sole e pertanto la distanza tra questi corpi, e l'ora del giorno; la latitudine e la longitudine che determinano la quantità di luce solare ricevuta per qualunque momento nel ciclo di traslazione o anno terrestre. Anche le condizioni atmosferiche come la torbidezza e nuvolosità determinano in larga misura la quantità di luce (radiazione) solare che raggiunge la superficie terrestre, così come la radiazione che riflessa ritorna verso lo spazio, (Gates, 1980).

L'analisi dell'insolazione potenziale del terreno ha una moltitudine di applicazioni che possono essere energetiche, ambientali, urbanistiche, turistiche, agricole. Tra queste, applicazioni, quelle relazionate con la produzione di energia, attualmente, hanno un valore maggiore.

Distinti modelli sono stati creati per stimare l'irradianza e le variabili ad essa relazionate, e tutti sono basati su punti (superfici semplici) ed aree, più o meno vaste. Quelli che si basano su punti, calcolano l'irradianza per un'ubicazione determinata usando caratteristiche della superficie, il cielo visibile ed altri parametri. I programmi Watt e Joule scritto da (Ezcurra, 1996), e Sol\_Rad Pt (Gómez Tagle 2003), fanno parte dei modelli basati su punti o superfici semplici.

## **3. CALCOLO DELLA RADIAZIONE SOLARE ED ELABORAZIONE DEI DATI**

Il principale obiettivo di questo lavoro è stato mostrare i risultati dell'analisi realizzata per il calcolo della Radiazione Globale del territorio della regione Emilia Romagna con una elevata precisione del flusso radiante espresso in  $\text{Wh/m}^2$ , per un periodo specifico, in una superficie topografica complessa rappresentata con un Modello Digitale di Elevazione (MDE).

Esistono, attualmente, algoritmi che calcolano la radiazione o l'insolazione solare potenziale usando superfici. Di seguito ne descriviamo alcuni:

- Il programma SolarFlux, Hetrick ed altri in (HEMI, 1999), implementato nel Sistema di Informazione Geografica (SIG) ArcInfo simula l'insolazione usando la funzione di ombreggiatura analitico in intervalli discreti di tempo.
- Kumar ed altri, (1997), generarono un programma per calcolare la radiazione solare che come il precedente funziona per il SIG ArcInfo, questo algoritmo è stato usato in lavori sulla variazione spaziale di proprietà antropizzate es. King ed altri (1999).
- Il programma SRAD, che è parte integrante del programma TAPES-G per piattaforme UNIX (Wilson y Gallant, 2000), stima la radiazione solare potenziale come una funzione della latitudine, pendenza, esposizione, ombreggiatura, topografia, e periodo temporale dell'anno. In aggiunta si possono modificare le stime ampliando l'informazione esterna della nuvolosità e delle ore di luce. Questo programma è considerato il più completo disponibile sul mercato.
- Per ultimo menzioniamo il programma Solar Radiation disponibile nell'estensione Spatial Analyst di ArcGIS Desktop, che possiede una gran capacità di analisi di diverse variabili associate alla topografia e l'insolazione.

Tutti questi modelli utilizzano il principio delle fotografie emisferiche, i MDE ed i calcoli di movimento solare per produrre mappe di flusso solare, radiazione ed insolazione.

Tuttavia, i programmi GIS e le piattaforme nei quali funzionano la maggioranza di questi algoritmi, presentano dei limiti quando si lavora con cartografie di scala inferiore al 25.000 e/o con dati cartografici ad elevata definizione (esempio; curve di livello a 10 m).

Nel nostro lavoro, partendo dal MDE dell'intera regione, si è raggiunta una maggiore precisione, rispetto alle comuni applicazioni, utilizzando l'algoritmo di calcolo Solar Radiation di ArcGIS in ognuna delle porzioni di territorio determinate scomponendo la superficie totale della Regione Emilia Romagna (22080 Km<sup>2</sup>) in 596 singole unità di 37 Km<sup>2</sup> ciascuna.

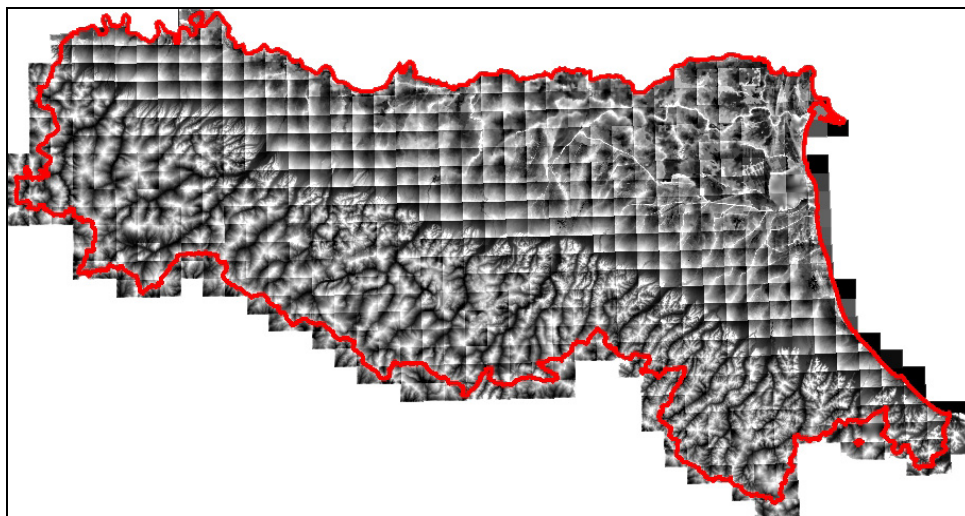
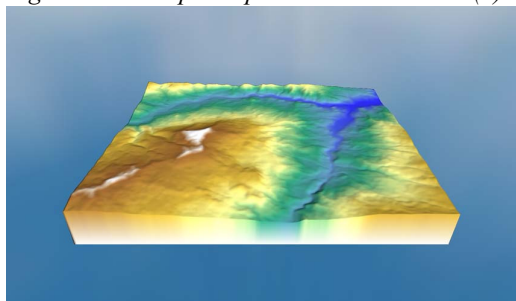


*Figura 1 – Regione Emilia Romagna, rappresentazione della scomposizione del territorio).*

A scomposizione ottenuta si è applicato l'algoritmo di calcolo per ogni singola unità di territorio, calcolando così il potenziale di insolazione per periodi temporali diversi in parti del territorio (pixel) di 5 m. Il calcolo ha tenuto conto, per ogni singolo MDE in cui è stato diviso il territorio, delle seguenti diverse caratteristiche:

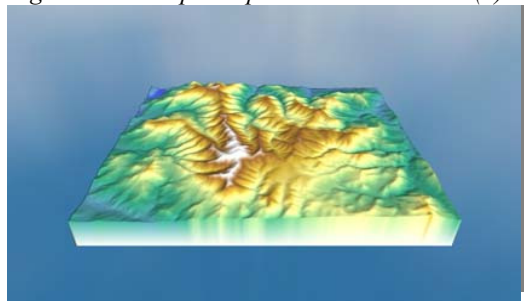
- topografiche del terreno dell'area. Sono state analizzate principalmente l'inclinazione e l'orientazione delle pendenze.
- dei dati climatologici georeferenziati (temperatura, umidità e direzione del vento, trasmittanza, ect.)
- relative alle coordinate geografiche (latitudine, longitudine).

Figura 2 – Esempio di porzione di territorio (a)



Fonte: Elaborazione ENEA

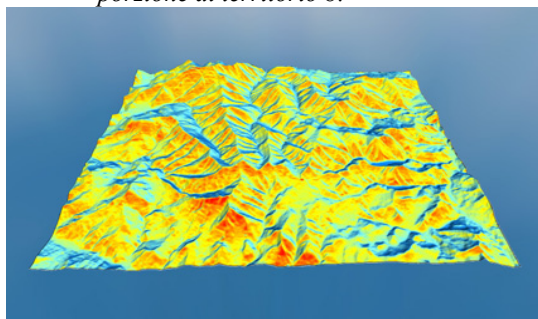
Figura 3 – Esempio di porzione di territorio (b).



Fonte: Elaborazione ENEA

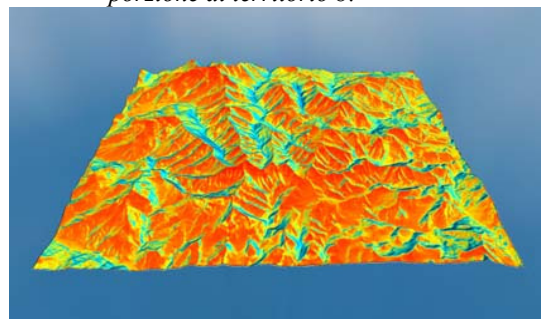
Tale scomposizione e relativi calcoli per ogni singola parte, ha aumentato la precisione di calcolo anche in funzione del fatto che il punto medio, per il quale l'algoritmo determina la quantità di luce solare che incide al suolo, è determinato per ogni singola unità di calcolo (596) e non per l'intera regione.

Figura 4 – Risultato del calcolo mese **Gennaio** su porzione di territorio b.



Fonte: Elaborazione ENEA

Figura 5 – Risultato del calcolo mese **Agosto** su porzione di territorio b.



Fonte: Elaborazione ENEA

Eseguendo l'algoritmo per periodi mensili, coincidenti con i mesi dell'anno solare 2011, si sono prodotte carte dell'intero territorio regionale che rappresentano il potenziale solare in  $\text{Wh/m}^2$  per l'intero periodo in esame. Come già detto, la precisione di tale calcolo è corrispondente a porzioni quadrate di territorio aventi 5m di lato. È intuibile come tale precisione possa consentire analisi di fattibilità per impianti di produzione di energia elettrica da fotovoltaico anche in porzioni di territorio molto antropizzato. Alcuni esempi per cui questa applicazione è già richiesta riguardano il collocamento di impianti FV in aree urbane, la selezione ottimale delle coperture industriali, l'individuazione delle coperture in zone agricole con maggiore efficienza. Per ottenere tali elaborazioni lo sviluppo previsto in questa linea di ricerca è quello di inserire il modello 3D delle aree antropizzate.

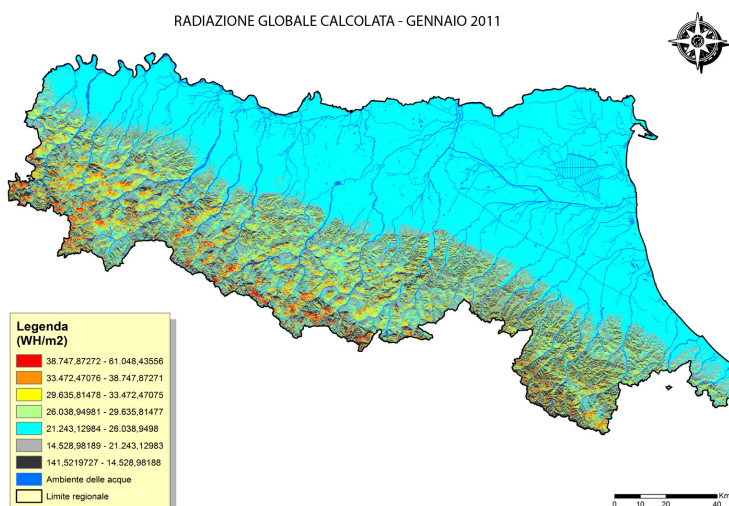


Per completare, al meglio, questo lavoro si è dovuto implementare una serie di computer con elevate capacità di calcolo. Tale necessità ha avviato, con il gruppo che gestisce il sistema ENEA GRID, una collaborazione per verificare se è possibile aumentare ulteriormente le capacità di calcolo.

#### 4. RISULTATI DELL'ANALISI

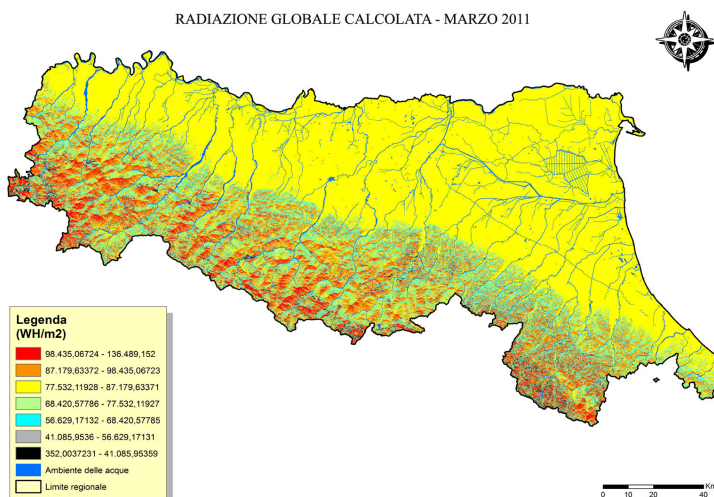
Le mappe seguenti, relative ai diversi mesi dell'anno 2011, mostrano la distribuzione del potenziale globale in tutto il territorio, differenziato secondo la morfologia del terreno e la sua risposta energetica in funzione delle caratteristiche del suolo e del variare dell'energia solare nelle sue componenti precedentemente descritte, durante l'arco del periodo analizzato.

*Figura 6 – Potenziale solare Regione Emilia Romagna – Gennaio.*



Fonte: Elaborazione ENEA 2011

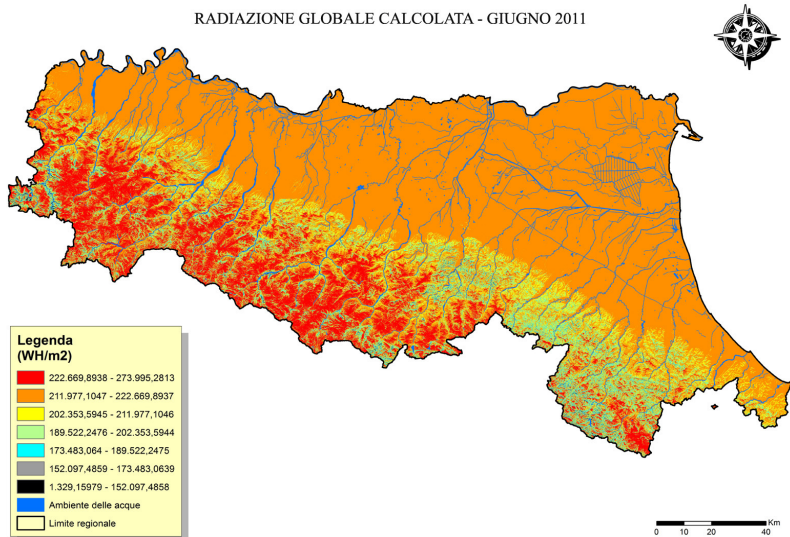
*Figura 7 – Potenziale solare Regione Emilia Romagna – Marzo.*



Fonte: Elaborazione ENEA 2011

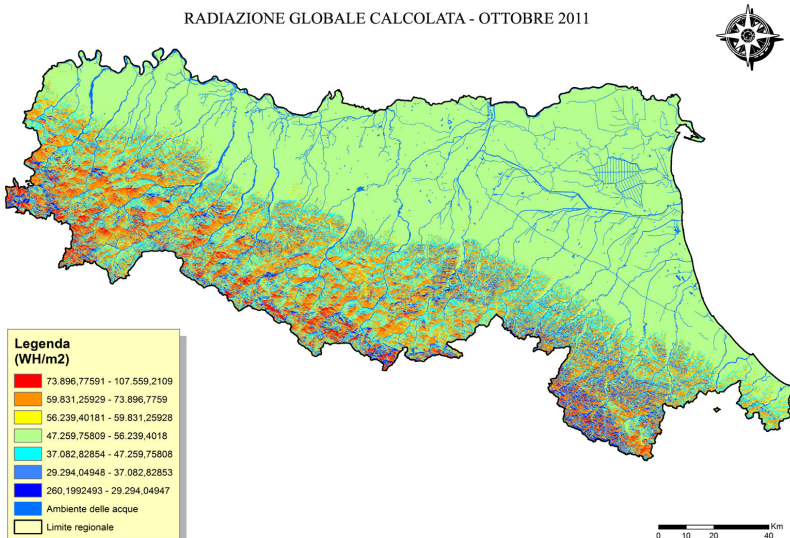


Figura 8 – Potenziale solare Regione Emilia Romagna – **Giugno**.



Fonte: Elaborazione ENEA 2011

Figura 9 – Potenziale solare Regione Emilia Romagna – **Ottobre**.



Fonte: Elaborazione ENEA 2011

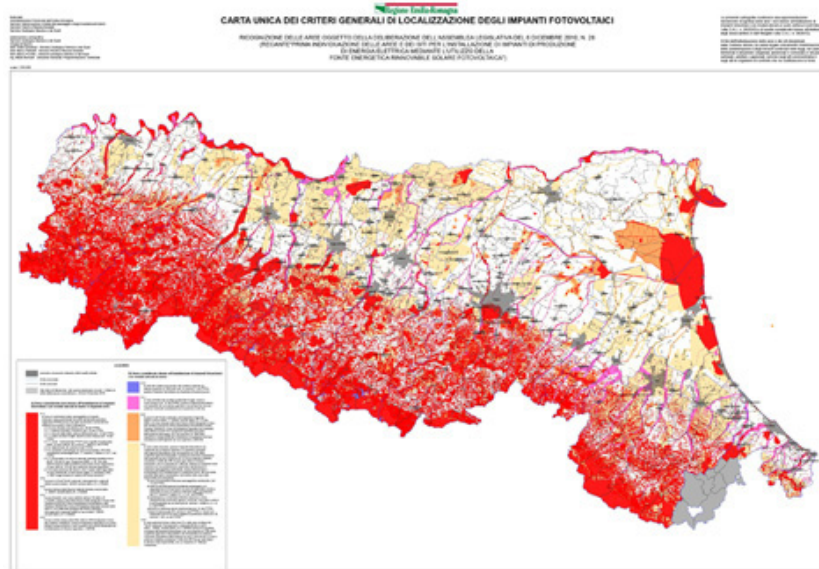
Ai fini di una pianificazione degli interventi occorre sovrapporre le mappe così ottenute con quella determinata dalla Delibera Regionale n° 28 del 6/12/2010 che individua le aree idonee all'installazione degli impianti FV a terra; in tal modo sarà possibile determinare per ogni singola area in esame il valore di energia elettrica producibile nel periodo definito.

Occorre precisare che nel fare le nostre valutazioni è stato considerato un rendimento complessivo degli impianti (BOS) del 16%. Tale valore tiene conto delle attuali tecnologie relative agli impianti FV che utilizzano pannelli di silicio policristallino correttamente orientati e inclinati (stato attuale della tecnica).

È importante considerare le possibili nuove tecnologie che, nel breve futuro, potranno aumentare il fattore di rendimento dei classici impianti FV montati a terra o su coperture piane e/o inclinate, e considerare, altresì la possibilità di installazioni di impianti per la conversione dell'energia solare in forme e applicazioni diverse. Già oggi è possibile avere impianti FV su pareti opache verticali, pareti trasparenti verticali, coperture di edifici industriali e/o commerciali, etc.

Le future applicazioni tecnologiche, non considerate oggi nella valutazione del potenziale potranno, certamente, incrementare la produzione di Energia Elettrica e allo stesso tempo migliorare l'efficienza energetica degli edifici e/o delle strutture industriale o commerciali. Tali prestazioni sono rese possibili considerando che queste installazioni sono sempre ad alta efficienza energetica.

*Figura 10 – Carta unica dei criteri generali di localizzazione degli impianti fotovoltaici.*



Fonte: Regione Emilia Romagna 2011

## 5. CONCLUSIONI SOLARE

La metodologia usata ha dato risultati corretti e ripetibili, il cui utilizzo può essere inserito agevolmente in azioni di valutazione effettuate da grandi imprese e istituzioni.

Le problematiche del settore energetico, le cui ricadute influenzano negativamente molti aspetti della vita umana, richiedono la convergenza di molte risorse scientifiche, oggi ormai possibili, per essere affrontate.

Le istituzioni, la comunità scientifica e il sistema economico sono infatti convinti che, chiusa la prima fase quasi esclusivamente tecnologica, sia oggi necessario affrontare e risolvere i problemi legati al territorio ed alla pianificazione e valutazione degli interventi e dei progetti, in un'ottica multidisciplinare.

In tale quadro si nota oggi uno sforzo tecnologico impiantistico accompagnato da un impegno della ricerca nell'uso di nuove fonti, che per essere efficace deve però essere supportato da una alta, nel senso scientifico del termine, capacità di pianificazione territoriale e ambientale.

Attualmente l'ENEA ha prodotto anche un Atlante della radiazione solare, un ottimo lavoro, i cui *output* sono utili nella progettazione puntiforme. Tale applicazione è una delle base dati utilizzata per lo sviluppo della nostra metodologia.

La metodologia qui descritta rappresenta, quindi un tentativo, riuscito limitatamente all'ambito del territorio regionale di riferimento, scientificamente corretto di produrre stime e valutazioni inerenti la diffusione delle FER. Nello specifico si tratta di impianti per la produzione di energia elettrica da fotovoltaico.

La metodologia indica come sia possibile, con strumenti di media complessità, arrivare a stime attendibili e largamente sfruttabili: si tratta, quindi, di innovare anche l'approccio delle scienze regionali sviluppando una linea di analisi dedicata ai temi dell'energia. Sulla tematica energetica esiste da tempo una capacità di analisi a livello nazionale, che è però essenzialmente presente nei centri di progettazione e programmazione delle grandi aziende energetiche.

Estendere lo sviluppo di applicazioni basate sui GIS, apre scenari di notevole interesse, considerando la crescente importanza assunta dai sistemi informativi geografici stessi. Tali applicazioni possono essere un valido supporto alla gestione delle informazioni territoriali, consentendo così analisi ambientali, economiche e alla pianificazione territoriale.

A causa della definizione del nuovo paradigma energetico basato sull'uso delle FER e su una nuova definizione delle reti di distribuzione dell'energia elettrica, lo studio del potenziale uso delle fonti energetiche rinnovabili si aggiunge ai già numerosi settori e temi della pianificazione territoriale. È opportuno precisare che, fino ad oggi, tale argomento è stato affrontato solo parzialmente da grandi aziende e da qualche istituzione. Alla luce di quanto fino ad ora affermato, invece, si ritiene cogente applicare questi studi nella definizione dei futuri piani energetici Regionali e Nazionali.

L'approccio metodologico sperimentato consente di fare valutazioni che tengono conto dell'attuale stato della tecnica in relazione all'intero territorio regionale.

In considerazione delle future applicazioni di nuove tecnologie, sarebbe auspicabile avviare un gruppo di lavoro interdisciplinare e permanente, composto da più soggetti scientifici ed istituzionali, che riveda le attuali valutazioni.



## **I Servizi WEBGIS realizzati dal Portale Cartografico della Provincia di Modena**

Amelio Fraulini, Corrado Ugoletti, Barbara Mengoli

Provincia di Modena, Servizio Pianificazione Urbanistica e Cartografia  
Viale Martiri della Libertà 34, Tel. 059209327, Fax 059209284, [sistemonet@provincia.modena.it](mailto:sistemonet@provincia.modena.it)

### **Riassunto**

La Provincia di Modena ha progettato, realizzato e popolato il portale cartografico [www.sistemonet.it](http://www.sistemonet.it), attraverso il personale tecnico dell'Unità Operativa Cartografico e SIT, cogliendo l'esigenza sentita e condivisa dagli Enti Locali e dai soggetti che concorrono alla pianificazione-gestione del territorio e dell'ambiente di integrare e rendere disponibili le proprie banche dati e il loro accesso per via telematica. Attraverso il portale un ampio sistema di dati geosensibili viene pubblicato e condiviso nell'ambito delle strutture organizzative, tra Enti Locali, professionisti e cittadini. Il portale si configura come un ambiente per lo sviluppo di applicazioni standardizzate basato su un catalogo di dati, funzioni, servizi web ed applicazioni GIS. Sono state realizzate applicazioni WebGIS finalizzate alla gestione e consultazione di Piani o Programmi di natura urbanistica e di gestione ambientale, implementando nel contempo diverse e specifiche web-application. Attualmente sono disponibili online 30 applicazioni WebGIS, realizzate sia direttamente ad uso della Provincia che su richiesta di Enti Locali. I dati utilizzati per la gestione degli applicativi urbanistici sono conformi ai modelli previsti dai protocolli regionali. Il portale consente di navigare on-line il complesso delle cartografie e degli altri supporti georeferenziali (mappe catastali, foto aeree, ecc.) proponendo per ogni singola applicazione un'ideale selezione dei tematismi utilizzabili, visualizzando a scelta gli elementi disponibili in funzione dell'applicazione ed effettuando interrogazioni su essi.

### **Abstract**

Provincia di Modena with the efforts of its own GIS technical staff, planned, designed and populated the geographical URL [www.sistemonet.it](http://www.sistemonet.it). The website was made to supply the local Authorities and subjects who concur in the land use and environment planning management, upgrading and making available their own data-bases through the network. Through URL [www.sistemonet.it](http://www.sistemonet.it) a comprehensive system of geo-data is published and shared within both internal offices and structures and local authorities, professionals and citizens. WebGIS applications have been designed for the management and consultation of cities planning programs and environment management, developing and upgrading different and specific Web-apps. The Web-site is set up as an environment for the development of standard applications based on database catalogues, functions, web services and GIS applications. Over 30 WebGIS-apps are currently online, designed by Provincia di Modena for its own purposes and on demand of others local Authorities. Data-bases involved in the urban planning management are made according to the standard of Regione Emilia-Romagna. [www.sistemonet.it](http://www.sistemonet.it) allows to surf the whole of the cartographies and other geo-referenced products and infos (land registry maps, aerial photos, etc). A suitable set of themes is available for each Web-app, which allows the user to make desired requests, such as displays, queries and prints.

### **Introduzione**

Il portale cartografico della Provincia di Modena [www.sistemonet.it](http://www.sistemonet.it) è stato progettato e realizzato a partire dal 2002 ed è stato sviluppato nel tempo con l'intento di rendere pubblici e proficuamente

utilizzabili gli innumerevoli set di dati riferibili all'ambiente e territorio prodotti e gestiti dalle diverse pubbliche amministrazioni. SisTeMoNet (sistema territoriale modenese basato sull'utilizzo della rete telematica) nella versione 2010 attualmente disponibile è stato progettato e realizzato interamente all'interno del Servizio urbanistica e cartografico provinciale. Il sistema consente lo scambio bidirezionale di informazioni ed elaborazioni a partire dalla rappresentazione topografica del territorio, attraverso le zonizzazioni urbanistico/ambientali, la individuazione delle infrastrutture, dei servizi, dei vincoli e delle tutele. I Servizi vengono condivisi fra Provincia, Comuni, Enti ed Aziende territoriali che agiscono in ambito modenese, ma innanzitutto sono rivolti all'utilizzo della generale platea di professionisti e cittadini che sono coinvolti dalle attività della pubblica amministrazione. Il Portale si rivolge agli utenti con differenti modalità. Il sistema realizza una gestione degli accessi a diversi livelli di interazione in funzione dell'utente. Tenendo conto delle finalità e delle limitazioni imposte per la diffusione dei dati, è garantita all'utente abilitato una navigazione trasparente e libera all'interno dei dati di sua pertinenza. La riserva e la selezione vengono effettuate a livello profondo dal sistema, senza darne visione diretta al navigatore. Ci si è infatti posti l'obiettivo di fornire agli utilizzatori del Portale uno strumento il più possibile di semplice utilizzo che al contempo permetta di determinare con precisione caratteristiche, uso, destinazione, tutele e vincoli del territorio modenese. Nel corso dello sviluppo del Portale sono state realizzate diverse applicazioni in funzione dei servizi WebGIS forniti dal sistema. In particolare sono state realizzate:

- applicazione web di gestione utenti, controllo e analisi statistiche degli accessi;
- applicazione web di gestione e pubblicazione della meta informazione, che prevede la sincronizzazione dei dati gestiti con ArcSDE;
- applicazione web per la gestione e pubblicazione on line delle normative associate ai vari servizi WebGIS;
- applicazione web per la localizzazione di eventi sul territorio provinciale a partire dagli stradari comunali ed integrata con il web service di geocoding di Google dove la banca dati degli stradari comunali non è completa o presente.
- applicazione web di gestione e pubblicazione on line delle schede monografiche descrittive dei ritrovamenti archeologici e dei relativi allegati fotografici. Le schede sono desunte dall' "Atlante dei Beni archeologici della Provincia di Modena" (tre volumi). L'applicazione comprende un tool per la localizzazione delle aree di ritrovamento, riportata a scala adeguata sul servizio di mappe di Google, ottenuta sincronizzando i livelli informativi presenti nella banca dati cartografica del SIT.
- applicazione web di analisi dei dati relativi alle diverse situazioni di vincolo esistenti in relazione alle planimetrie catastali dei terreni, al fine della compilazione dei piani di spandimento degli effluenti zootecnici.
- applicazione web di gestione dell'archivio delle istruttorie effettuate sugli strumenti urbanistici pervenuti per competenza.
- applicazione web per esprimere una valutazione sintetica dei servizi forniti o richieste di chiarimento / segnalazioni / commenti.

L'organizzazione del portale prevede una raccolta di servizi web-gis aventi caratteristiche strutturali e funzionali analoghe attraverso le quali sono possibili le comuni modalità di utilizzo dei SIT: posizionamento attraverso la scelta di specifici parametri di localizzazione (comune, località, indirizzo, particella catastale, argomento), navigazione, interrogazione dei livelli informativi, stampa delle mappe visualizzate (corredate delle opportune legende descrittive delle informazioni relative all'area inquadrata), salvataggio delle impostazioni di ricerca impostate utilizzabili poi per una nuova consultazione. Alcuni dei servizi disponibili forniscono inoltre un supporto per la certificazione formale dello stato di fatto, utilizzabile per la certificazione di destinazione urbanistica. Per i servizi costituiti da più tavole è possibile scegliere se interrogare una sola tavola o più tavole contemporaneamente. Questa diversa tipologia di interrogazione è stata realizzata in funzione della restituzione della mole di indicazioni normative derivanti dalle informazioni



cartografiche, al fine di consentirne l'analisi per singolo tema/carta o in generale. Lo sfondo cartografico, comune a tutti i servizi, ha un dettaglio che varia con la scala di visualizzazione. Si passa con continuità dalla Carta Topografica in scala 1:250.000 al DBTR in scala 1:5.000. La base cartografica è integrabile, a scala opportuna, con riprese satellitari/aeree, disponibili in diverse serie storiche. Questa modalità di rappresentazione variabile della base cartografica è stata scelta sia per avere sempre sullo sfondo una cartografia congrua alla scala di visualizzazione scelta che per non rallentare troppo il funzionamento del servizio. Ad ogni visualizzazione corrisponde sia la creazione della legenda che la possibilità di realizzare il relativo estratto di mappa. Le applicazioni web-gis principali oggi disponibili riguardano il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP), i Piani Regolatori Generali (PRG) ed i Piani Strutturali Comunali (PSC) sia in forma singola che aggregata in mosaico, il Piano Provinciale di Localizzazione dell'emittenza radio-televisiva (PLERT), il Piano Faunistico Venatorio Provinciale (PFVP), la Carta provinciale degli spandimenti degli effluenti zootecnici e dei fanghi di depurazione (SIAM), la Carta delle potenzialità archeologiche, il Monitoraggio Aree Produttive di Modena (MOAP), la Rete di raffittimento primario a 7km della Rete Geodetica Fondamentale IGM95, il Repertorio fotografico ed il Repertorio cartografico del territorio modenese. La distribuzione delle applicazione in cartelle permette di identificare facilmente l'ente che detiene la proprietà dei dati pubblicati.



Figura 1 – Elenco applicazioni WebGIS.

Ad oggi si sono registrati al portale 1206 utenti. Dal marzo 2010 sono stati rilevati 14428 accessi alle applicazioni Web-GIS di cui 6414 nel periodo gennaio-agosto 2011 così sintetizzabili:

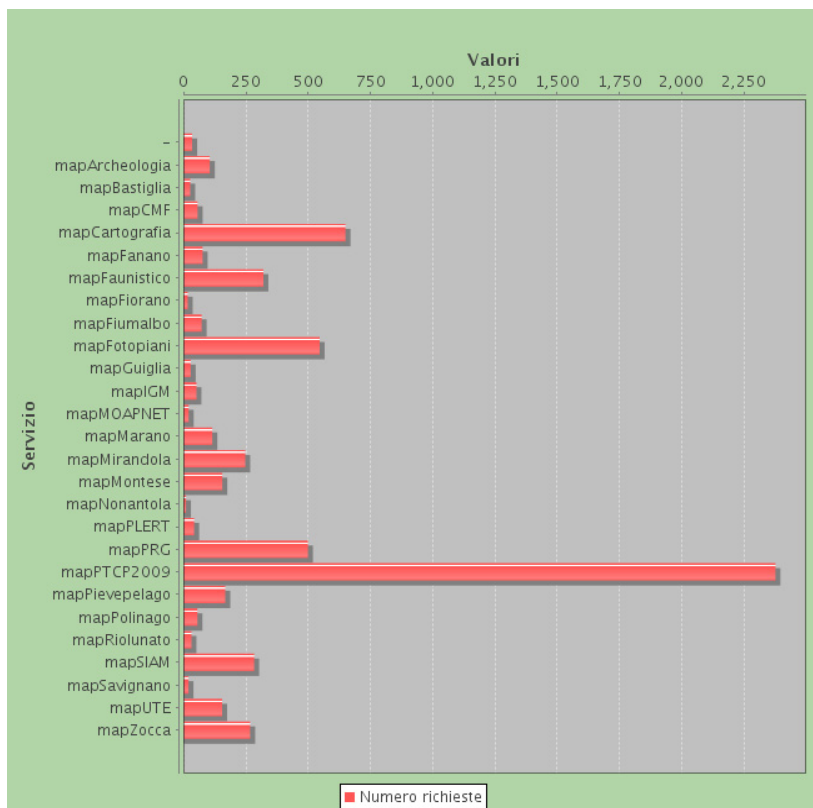


Figura2 – Accessi ai servizi WebGIS.

## Servizi WebGis – Provincia di Modena

### Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) della Provincia di Modena

È lo strumento di pianificazione che definisce l'assetto del territorio provinciale. Il Servizio realizza la pubblicazione dell'intero PTCP. Il sistema procede dalla scelta della modalità di interrogazione della normativa che è possibile sia in forma aggregata che per singola carta. La visualizzazione prevede la scelta della tipologia della carta (il PTCP si compone infatti di 35 carte suddivise tra cartografia di piano, quadro conoscitivo ed allegati) quindi in cascata l'individuazione della carta e dell'area interessata. Una volta effettuata la localizzazione alla scala desiderata è possibile la visualizzazione successiva di tutte le carte sulla medesima area e di conseguenza anche la creazione dei relativi estratti di mappa. L'intero set dei dati è disponibile in download dal Portale.

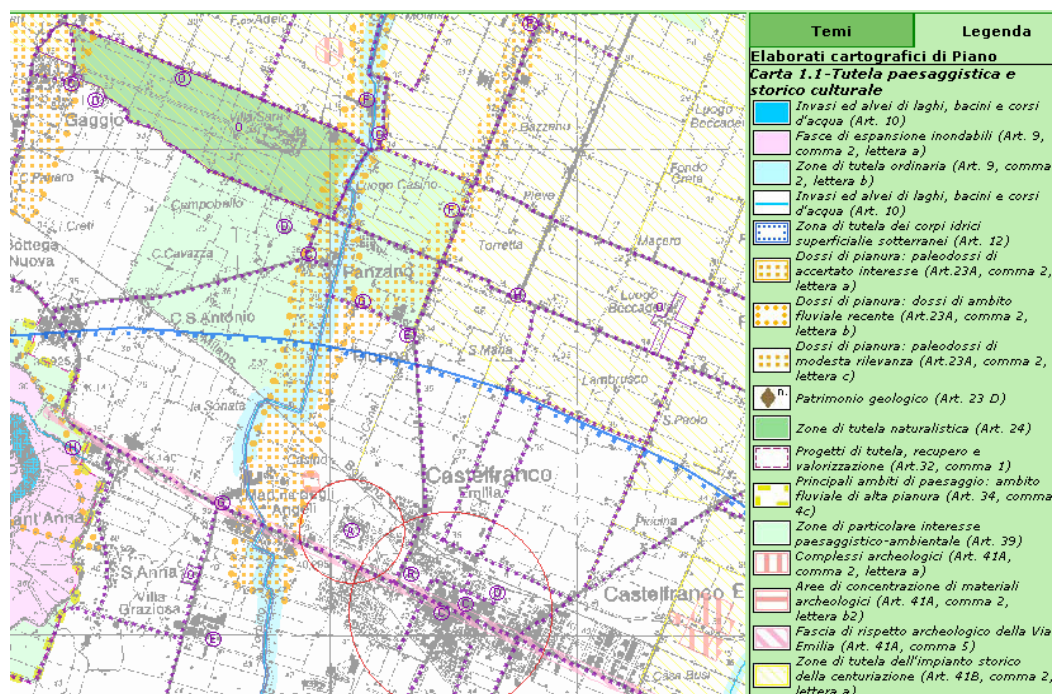


Figura 3 – Estratto mappa PTCP carta 1.1.

### Piano provinciale di Localizzazione dell'emittenza Radio e Televisiva (PLERT)

È lo strumento di gestione e programmazione dei singoli siti utilizzati per l'emittenza radio televisiva. Contiene, per ognuno di essi, esistente o di progetto, le valutazioni che ne determinano l'idoneità, la necessità di risanamento o di delocalizzazione.

### Piano Faunistico Venatorio Provinciale (PFVP)

Rappresenta lo strumento attraverso il quale la Provincia di Modena realizza la pianificazione e programmazione della gestione della fauna selvatica e del prelievo venatorio.

### Carta provinciale degli spandimenti (SIAM)

Il servizio consente la gestione delle aree idonee all'utilizzazione agronomica degli effluenti zootecnici e dei fanghi di depurazione in funzione della delimitazione territoriale degli ambiti individuati ai sensi della Delibera dell'Assemblea legislativa della Regione Emilia Romagna n. 96/2007 e negli altri provvedimenti normativi vigenti in materia.

Questo servizio, realizzato su richiesta ed in collaborazione con il servizio Agricoltura, oltre a realizzare la pubblicazione delle cartografie provinciali, consente agli utenti (agricoltori o associazioni) di interfacciarsi con il sistema per ottenere, in relazione all'appoderamento catastale, i dati necessari alla compilazione del piano di spandimento. L'informazione viene elaborata per singola particella catastale, in una apposita scheda informativa.

## CARTA DELLE AREE IDONEE ALL'UTILIZZAZIONE AGRONOMICA DEGLI EFFLUENTI ZOOTECNICI E DEI FANGHI DI DEPURAZIONE

Decreto Legislativo 152/2006 art. 112 e Capo III della Legge Regionale 4/2007  
Decreto Legislativo 99/92 e Delibera di Giunta Regionale n. 2773/2004 e successive modifiche e integrazioni  
Delibera di Consiglio Provinciale n. 40 del 12/03/2008

## INFORMAZIONI SULLA CLASSIFICAZIONE CARTOGRAFICA DELLE PARTICELLE CATASTALI RICHIESTE

| Estremi catastali                                                             |        |            |                      | Superfici da riportare al quadro 10 "terreni" della comunicazione all'uso degli effluenti zootecnici |            |                           |                               | Dettaglio della superficie utile per lo spandimento degli effluenti zootecnici e carico massimo d'azoto anno suddiviso per zone |               |                                 |                           |                 |                                 |                           |                                                             |                                 |                           |                                            |           | Zona d'attenzione   |                 | Consorzio di bonifica               |        |               |                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------|--------|------------|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------------------|-----------------|---------------------------------|---------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------|-----------|---------------------|-----------------|-------------------------------------|--------|---------------|----------------------------------|
| Comune                                                                        | Foglio | Particella | Superficie catastale | Mq (*)                                                                                               | Di divieto | Utile in zone vulnerabile | Utile in zone non vulnerabile | Superficie di divieto assoluto non deroga per le attività esistenti                                                             | Vulnerabile   |                                 |                           | Non vulnerabile |                                 |                           | Di protezione delle acque in territorio collinare e montano |                                 |                           | Carico massimo azoto anno della particella | Sic e ZPS | Attività estrattive | Zona di riserva | Pendenza media (%) della particella | Codice | Denominazione |                                  |
|                                                                               |        |            |                      |                                                                                                      |            |                           |                               |                                                                                                                                 | Senza vincoli | In divieto per liquami e fanghi | Carico massimo azoto anno | Senza vincoli   | In divieto per liquami e fanghi | Carico massimo azoto anno | Senza vincoli                                               | In divieto per liquami e fanghi | Carico massimo azoto anno |                                            |           |                     |                 |                                     |        |               |                                  |
|                                                                               |        |            |                      |                                                                                                      |            |                           |                               |                                                                                                                                 | ha            | ha                              | kg                        | ha              | ha                              | kg                        | ha                                                          | ha                              | kg                        |                                            |           |                     |                 |                                     |        |               |                                  |
| FORMIGINE                                                                     | 11     | 157        | 4.7795               | 1                                                                                                    | 0.0019     | 4.6352                    | 0                             | 0.1424                                                                                                                          | 4.6352        | 0                               | 788                       | 0               | 0                               | 0                         | 0                                                           | 0                               | 0                         | 0                                          | 788       | No                  | No              | No                                  | A      | 4             | Burana Leo<br>Scotenna<br>Pascio |
| FORMIGINE                                                                     | 11     | 161        | 0.3700               | 1                                                                                                    | 0          | 0                         | 0                             | 0.37                                                                                                                            | 0             | 0                               | 0                         | 0               | 0                               | 0                         | 0                                                           | 0                               | 0                         | 0                                          | 0         | No                  | No              | No                                  | A      | 4             | Burana Leo<br>Scotenna<br>Pascio |
| FORMIGINE                                                                     | 11     | 162        | 4.7100               | 1                                                                                                    | 1.0682     | 2.7803                    | 0                             | 0.8615                                                                                                                          | 2.7803        | 0                               | 473                       | 0               | 0                               | 0                         | 0                                                           | 0                               | 0                         | 0                                          | 473       | No                  | No              | No                                  | A      | 4             | Burana Leo<br>Scotenna<br>Pascio |
| FORMIGINE                                                                     | 11     | 246        | 0.7691               | 1                                                                                                    | 6.0E-4     | 0.7691                    | 0                             | 0                                                                                                                               | 0.7691        | 0                               | 131                       | 0               | 0                               | 0                         | 0                                                           | 0                               | 0                         | 0                                          | 131       | No                  | No              | No                                  | A      | 4             | Burana Leo<br>Scotenna<br>Pascio |
| FORMIGINE                                                                     | 11     | 247        | 0.5444               | 1                                                                                                    | 0.035      | 0.5094                    | 0                             | 0                                                                                                                               | 0.5094        | 0                               | 87                        | 0               | 0                               | 0                         | 0                                                           | 0                               | 0                         | 0                                          | 87        | No                  | No              | No                                  | A      | 4             | Burana Leo<br>Scotenna<br>Pascio |
| FORMIGINE                                                                     | 11     | 248        | 0.7790               | 1                                                                                                    | 0.0583     | 0.7207                    | 0                             | 0                                                                                                                               | 0.7207        | 0                               | 123                       | 0               | 0                               | 0                         | 0                                                           | 0                               | 0                         | 0                                          | 123       | No                  | No              | No                                  | A      | 4             | Burana Leo<br>Scotenna<br>Pascio |
| Totale                                                                        |        |            |                      | 1.164                                                                                                | 9.4147     | 0.0                       | 1.3739                        | 9.4147                                                                                                                          | 0.0           | 1602                            | 0.0                       | 0.0             | 0                               | 0.0                       | 0.0                                                         | 0                               | 0.0                       | 0.0                                        | 1602      |                     |                 |                                     |        |               |                                  |
| Totale azoto in aree senza vincoli                                            |        |            |                      |                                                                                                      |            |                           |                               |                                                                                                                                 | Kg            |                                 | 1600                      |                 |                                 |                           |                                                             |                                 |                           |                                            |           |                     |                 |                                     |        |               |                                  |
| Totale azoto in aree di divieto per liquami e fanghi                          |        |            |                      |                                                                                                      |            |                           |                               |                                                                                                                                 | Kg            |                                 | 0                         |                 |                                 |                           |                                                             |                                 |                           |                                            |           |                     |                 |                                     |        |               |                                  |
| Totale azoto in aree di divieto assoluta con deroga per le attività esistenti |        |            |                      |                                                                                                      |            |                           |                               |                                                                                                                                 | Kg            |                                 | 234                       |                 |                                 |                           |                                                             |                                 |                           |                                            |           |                     |                 |                                     |        |               |                                  |

(\*) 0 = Particella non presente in archivio; 1 = Particella presente in archivio;

(\*\*) A = Pendenza minore del 10%, B = Pendenza maggiore/uguale del 10% e minore 20%, C = Pendenza maggiore/uguale del 20% e minore 30%, D = Pendenza maggiore/uguale 30%;

Figura 4 – Scheda informativa SIAM.

Il Servizio si basa su una specifica applicazione web attraverso la quale gli utenti interagiscono con il sistema in modi diversi. Si va dalla più semplice interrogazione per singola particella catastale, all'inserimento di liste di particelle. In questo caso la lista è ottenuta dal download di fogli .xls esportati dal Sistema informativo agricolo della Regione Emilia Romagna "Gestione Effluenti Zootecnici", o creata utilizzando un modello .xls scaricabile dall'applicazione stessa.

Figura 5 – Interfaccia applicativo SIAM introduzione dati.

L'applicazione interroga dinamicamente le banche dati presenti nel portale e in modo automatico restituisce una scheda in formato PDF contenente le informazioni sulla classificazione delle particelle richieste. Il sistema accede inoltre all'applicazione web-gis che localizza le particelle presenti nella banca dati del SIT consentendo all'utente di realizzare estratti cartografici a scala opportuna per singola particella o gruppi di particelle.

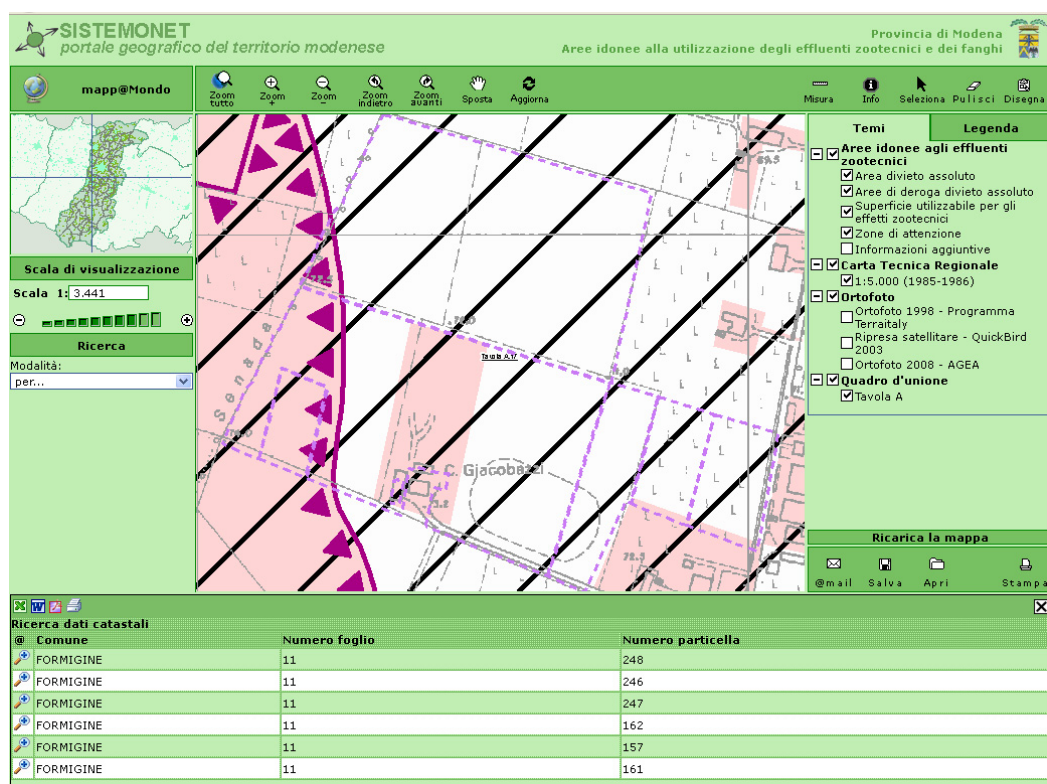


Figura 6 – Estratto mappa SIAM.

### Carta delle Potenzialità archeologiche

La Carta delle potenzialità archeologiche, che costituisce anche un elaborato del quadro conoscitivo del PTCP della Provincia di Modena (carta 8), è il risultato di uno studio sperimentale realizzato dal Servizio urbanistica in collaborazione con la Soprintendenza ai beni archeologici provinciale e con il Servizio geologico regionale, che ha permesso di effettuare, con una ragionevole attendibilità, una previsione di distribuzione e conservazione del materiale archeologico in superficie e nel sottosuolo attraverso l'utilizzo delle conoscenze dei depositi archeologici già noti, l'indagine geomorfologica del territorio e l'analisi della demografia antica.

Il Servizio, attraverso l'utilizzo di una specifica applicazione web realizza inoltre la gestione e la pubblicazione on line delle schede monografiche descrittive dei ritrovamenti archeologici e dei relativi allegati fotografici contenute nell'“Atlante dei Beni archeologici della Provincia di Modena”. L'applicazione comprende un tool per la localizzazione delle aree di ritrovamento, riportata a scala adeguata sul servizio di mappe di Google, ottenuta sincronizzando i livelli informativi presenti nella banca dati cartografica del SIT.

### Monitoraggio Aree Produttive di Modena (M.O.A.P.)

Il Servizio rende disponibili le basi cartografiche delle aree produttive del territorio provinciale a supporto del portale provinciale MOAPnet.

### Repertorio fotografico

Si tratta di una collezione di riprese aeree che coprono variamente il territorio provinciale e realizzate in un intervallo di tempo compreso tra il 1934 ed il 2008 da differenti enti. Si va dai voli storici dell'Istituto Geografico Militare (1934-1981), della Royal Air Force britannica (1943-1944), del Gruppo Aereo Italiano (1954-1955), del Magistrato per il PO di Parma (1962-1980) e da alcuni



singoli Comuni; fino ad arrivare alle riprese aeree/satellitari Programma TerraItaly 1998, QuikBird 2003, AGEA 2008. Per rendere agevole l'identificazione delle aree coperte dai singoli voli sono pubblicati tutti i piani di volo ed è quindi possibile interrogare il set di riprese disponibili per l'area di interesse e quindi visualizzare i singoli fotogrammi esistenti. Le riprese aeree/satellitari più recenti sono invece navigabili interattivamente sull'intero territorio provinciale, a scala opportuna.

### **Repertorio cartografico**

Questo servizio web raccoglie l'intero repertorio cartografico disponibile per la Provincia di Modena dal 1800 ad oggi. Vi sono raccolte, georeferenziate e con i rispettivi quadri di unione, rappresentazioni cartografiche che spaziano dalle carte storiche, Carta del Ducato di Modena realizzata dal Carandini negli anni 1821-1828, Carta Topografica del 1849, Carta Provinciale 1881 e 1898; passando dalle cartografie IGM e regionale, fino al Data base topografico della Regione Emilia Romagna nell'edizione aprile 2011.

### **Mosaico storico dei Piani Regolatori Generali (PRG)**

Si tratta della pubblicazione di una rappresentazione del mosaico dei 47 piani regolatori comunali ottenuta mediante interpretazione, confronto normativo e quindi sintesi delle principali destinazioni d'uso previste dal PRG. Sono stati realizzati 3 servizi corrispondenti ai mosaici aggiornati agli anni 1989, 1996 e 2002 ed un servizio di sintesi (Evoluzione dello sviluppo urbano e delle previsioni urbanistiche) che descrive l'evoluzione del territorio urbanizzato e del territorio pianificato nel periodo 1976-2002.

### **Raffittimento Primario a 7km della Rete Geodetica Fondamentale IGM95**

Il Servizio pubblica i dati della Rete dei vertici IGM95 (vertici della rete di inquadramento) situati nella provincia di Modena. Ogni caposaldo è corredato della propria monografia descrittiva, visualizzabile e scaricabile.

## **Servizi WebGis – Comuni**

### **Piani Regolatori Generali (PRG)**

Sono attivi, all'interno della cartella Comuni, i servizi relativi alla pubblicazione dei singoli Piani Regolatori Generali (PRG) di 14 Comuni, con collegamento delle relative norme di Piano, ove disponibili.

A titolo di esempio si richiama il servizio di pubblicazione del PRG del Comune di Mirandola, comunemente utilizzato sia dai tecnici comunali per redigere il certificato di destinazione urbanistica (CDU) che dai professionisti. Il Servizio consente la navigazione sul territorio comunale del PRG e delle altre zonizzazioni specialistiche, fornendo per ognuna il collegamento alle relative Norme tecniche d'attuazione. L'attivazione della funzione info sull'area di interesse fornisce l'analisi completa di tutte le normative che la riguardano, a partire dal nominativo del tecnico comunale competente.

### **Piani Strutturali Comunali (PSC)**

Sempre nella cartella Comuni sono inoltre attivi sia i servizi di pubblicazione dei Piani Strutturali Comunali (PSC) di 11 Comuni per i quali sono disponibili i dati informatizzati che uno specifico servizio in cui è raccolto il mosaico di sintesi degli stessi PSC. L'immagine che si riporta di seguito è effettuata sulla nuova versione del software di visualizzazione.



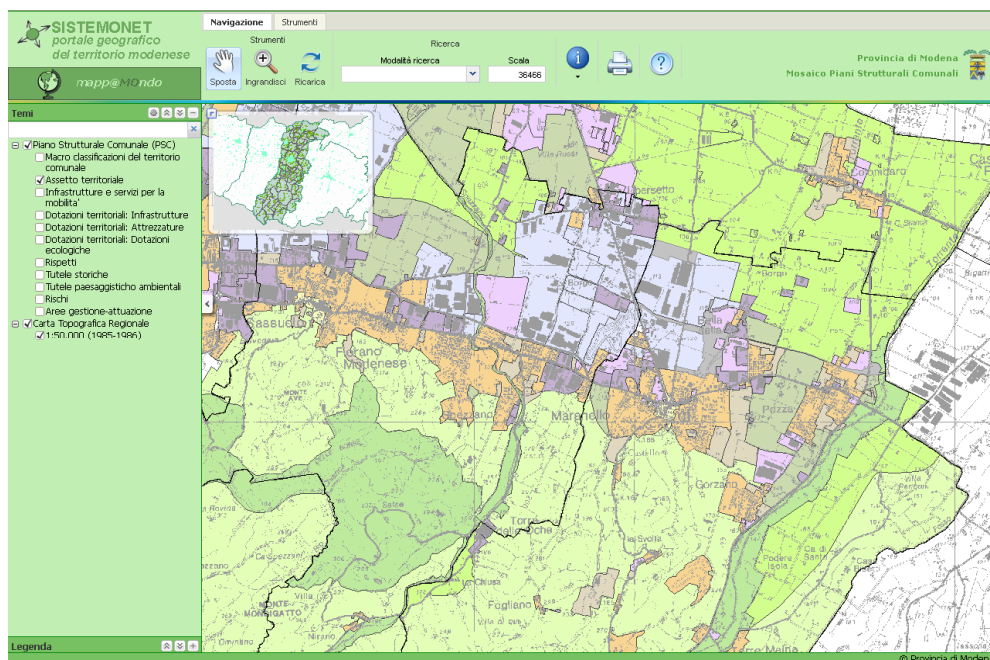


*Figura 7 – Estratto mappa mosaico PSC.*

### Servizi WebGis – Altri Enti

Gli ultimi due servizi web presenti nel portale riguardano la rappresentazione degli Stradari realizzati dalla Comunità Montana del Frignano per alcuni dei Comuni dell'ambito in conformità alle specifiche richieste dalla Regione Emilia Romagna, ed un applicazione realizzata su richiesta dall'Agenzia del Territorio per consentire ai cittadini di ricavare la quota sul livello del mare di un punto qualsiasi del territorio provinciale modenese.

### Conclusioni

Il portale SisTeMoNet è un esempio concreto di condivisione tra pubblico e privato di conoscenze e dati realizzato e gestito interamente all'interno dell'Amministrazione provinciale. Il sistema è stato realizzato nell'ottica del web 2.0 e con lo scopo di rendere effettivamente fruibili al cittadino il maggior numero di informazioni necessarie nelle attività di rapporto con l'Amministrazione pubblica.



## **Studio della propensione al dissesto idrogeologico del bacino sotteso dalla Diga di Medau Zirimilis (Sardegna SW) tramite l'impiego di applicazioni GIS**

Frongia P.

Dottorando di Ricerca in Difesa e Conservazione del Suolo, Vulnerabilità Ambientale e  
Protezione Idrogeologica, Università di Cagliari Dipartimento di Scienze della Terra  
Via Trentino 51, 09127, Tel. 6757750, mail:paolofron@tiscali.it

### **Riassunto**

Nel presente lavoro, tramite un approccio modellistico e l'impiego di applicazioni GIS, viene proposto un metodo per la valutazione della propensione al dissesto idrogeologico correlato ad eventi pluviometrici estremi capaci di provocare l'innescare di fenomeni franosi di erosione accelerata e di trasporto solido di fondo e in sospensione che possono creare problemi di rischio ambientale e variazioni della morfologia fluviale e dell'area d'invaso. L'area di studio presa in considerazione è quella del bacino idrografico del Rio Casteddu nella sua parte sottesa dalla diga di Medau Zirimilis in territorio di Siliqua (Sardegna SW). Il bacino è sostanzialmente costituito da graniti e loro differenziazioni aplitiche e pegmatitiche nella parte alta e da rocce metamorfiche (metarenarie, metasiltiti e matargilliti in quella più a valle, prossima all'invaso). Il lavoro è stato condotto mediante la fotointerpretazione di riprese aeree (foto aeree ed ortofoto) e controlli e verifiche sul campo che hanno consentito la mappatura delle caratteristiche geologico-ambientali del territorio ed una prima messa in luce delle aree critiche o sensibili. La propensione al dissesto idrogeologico è stata valutata mediante l'adozione di un modello concettuale sviluppato in ambiente GIS, tramite una operazione di *overlay* cartografico e l'integrazione, di pesi correlati alle rispettive propensioni al dissesto, dei tematismi considerati (caratteristiche geomorfologiche del bacino, litologie e relativa fratturazione, pendenze dei versanti, esposizione, uso del suolo e copertura vegetale, fasce altimetriche, pendenza delle aste fluviali, spessore e grado delle coltri di alterazione). L'interpretazione dei dati geografici è stata adattata al modello fisico attraverso l'elaborazione dei dati da formato vettoriale a formato raster e successive elaborazioni di *overlay mapping*. La taratura dei pesi attribuiti ai diversi tematismi utilizzati per l'integrazione delle diverse componenti è stata calibrata sulla base degli effetti osservati mediante rilevamento in situ dei fenomeni di dissesto conseguenti a recenti precipitazioni intense che si sono verificate nell'area o nel suo intorno (bacino del Rio San Girolamo, bacino del Rio Santa Lucia, piccoli bacini a monte dell'abitato di Capoterra) nell'ultimo decennio.

### **Abstract**

In this paper, using a modeling approach and using GIS application, are proposed a method for evaluating the propensity to hydrogeological risk related to extreme rainfall events able to causing the trigger landslides and accelerated erosion of solid transport thoroughly and suspension, which can create problems of environmental risk and changes in river morphology and alluvial the area. The propensity to hydrogeological risk was assessed by the adoption of a conceptual model developed in GIS environment, through an operation overlay cartographic integration of weights related to their propensity to collapse, the themes considered (geomorphological characteristics of the basin lithologies and related fractures, steep slope, exposure, land use and land cover, elevation ranges, slope of river courses, thickness of layers and degree of alteration).

## Premessa

Nel seguente contributo è descritta la metodologia applicata per la valutazione della propensione al dissesto idrogeologico del bacino del Rio Casteddu, all'interno del territorio di Siliqua (Sardegna S-W). Dopo aver effettuato una campagna di rilevamenti sul terreno, la ricerca bibliografica, un'attenta interpretazione delle riprese aeree e ortofoto, è stata effettuata un'elaborazione di cartografie tematiche tra le quali, geologia, pendenze dei versanti, esposizione dei versanti, uso attuale del suolo, geomorfologia, che ha consentito tramite l'*overlay* cartografico di ottenere una carta di sintesi della propensione al dissesto idrogeologico, che evidenzia le aree potenzialmente predisposte a fenomeni erosivi, spesso innescati da eventi meteorici estremi.

## Principali lineamenti geologici dell'area di studio

Il bacino idrografico del Rio Casteddu avente un'estensione di 29,42 Km<sup>2</sup> è inquadrato all'interno di un bacino più ampio, è infatti uno dei principali affluenti in destra idrografica del Rio Cixerri. L'area sottesa dal bacino considerato è costituito da due principali gruppi di litologie, ed in particolare da rocce metamorfiche di età paleozoica e rocce granitiche, con subordinati depositi quaternari, classificabili come depositi di versante e depositi alluvionali, mentre sono presenti in affioramenti limitati successioni di arenarie ed argille della formazione del Cixerri correlabili all'eocene. Le successioni scistose-metamorfiche costituite da metapeliti metareniti, metasiltiti risalenti all'età paleozoica affiorano nel settore più a nord del bacino, quindi nella parte più bassa (Fig.3 – Carta Geologica). Il settore più alto e meridionale del bacino è caratterizzato prevalentemente da leucograniti (Monte Arcosu), del complesso plutonico, appartenenti al basamento ercinico databili al Carbonifero sup.-permiano (Bralia et al. 1981) che si presentano con colorazioni prevalentemente chiare e rosate con facies equigranulari prevalentemente fine intercalati da filoni di quarzo.

Le coperture quaternarie presenti poco rappresentate, sono costituite prevalentemente da alluvioni caratterizzate da ciottoli e clasti di dimensione assai variabile immersi in matrice argillosa, e si rinvencono prevalentemente lungo alcuni tratti della valle principale.

I depositi alluvionali antichi, terrazzati sono presenti solo in un'area limitata all'interno dell'invaso ed in alcune rare tratti vallivi (Pleistocene inf.-medio), si presentano piuttosto alterate, contenenti ciottoli arrotondati di scisti e granito, anche esse con una matrice argillosa-sabbiosa.

Negli alvei principali dei corsi d'acqua sono presenti alluvioni attuali (olocene) costituiti da ciottoli e blocchi di varia dimensione con matrice prevalentemente sabbiosa.

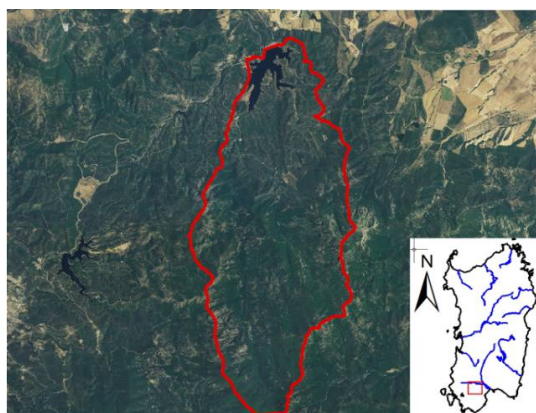


Figura 1 – Ripresa aerea anno 2006 con delimitazione del bacino del Rio Casteddu sotteso dalla diga di Medau Zirimilis (Siliqua Sardegna Sud occidentale).

## Inquadramento geomorfologico.

L'area di studio considerata del bacino del Rio Casteddu, è contraddistinta in due entità geomorfologiche principali, l'area più a monte costituita da litologie prevalentemente granitiche

presenta dei versanti più acclivi, con la presenza di tipiche creste frastagliate nei rilievi più importanti, Monte Arcosu 948 m.s.l.m., Monte is Caravius e Monte Lattias 1116 m.s.l.m. in prossimità di tali rilievi la morfologia rimarca ripidi e scoscesi versanti, che danno luogo ad un andamento assai ramificato e dendritico del reticolo idrografico presentando, canali di detrito con la presenza di blocchi di varia dimensione. Successivamente le valli si presentano meno acclivi con depositi di versante e coltri di alterazione granitiche con blocchi immersi in una matrice sabbiosa generata dal disfacimento dovuto sia a fattori fisici che all'alterazione chimica. Per gran parte del suo sviluppo il bacino idrografico del Rio Casteddu si presenta con acclività elevata e diffusi affioramenti rocciosi soprattutto nella parte alta granitica, ai quali si alternano numerosi e non troppo estesi depositi di versante. È anche a causa di queste caratteristiche che il paesaggio si presenta in vaste aree, con una scarsa copertura vegetale; (Fig.4 Carta dell'uso attuale del suolo) infatti alcuni settori sono stati completamente reimpiantati ad eucaliptus e presentano soltanto un rado sottobosco. Il complesso costituito prevalentemente da terreni di età paleozoica, si mostra con una conformazione orografica che varia da una bassa montagna a collina, con escursioni altimetriche vanno da quote minime di circa 120 m.s.l.m. nell'area dell' invaso e nella parte bassa della valle del Rio Casteddu, fino ad un massimo di 948 m.s.l.m. di Monte Arcosu e di 1180 m.s.l.m. circa di Monte is Caravius, le cime più elevate di tutto il Sulcis. Le zone morfologicamente più elevate e dai versanti più acclivi sono ubicati nella parte alta, nel settore meridionale del bacino idrografico, lungo la linea spartiacque, che lo separa dalla valle del Gutturu Mannu.

Le quote degradano da sud-est a nord-ovest con variazioni di pendenza irregolari e con valli più incise nell' area scistoso- arenacea rispetto all' area in cui affiorano le rocce granitoidi, fino a degradare e addolcirsi nel settore più a nord-est per poi raccordarsi con la piana del Rio Cixerri. Le profonde incisioni vallive dettate dai caratteri strutturali, seguono orientazioni prevalenti sud sud-est e nord nord-ovest, talvolta delineando anche variazioni di compattezza e o alterazioni delle rocce scistose. Il bacino è formato da due affluenti principali del Rio Casteddu, il Rio Gutturu Sa Nai e il Rio Camboni che su uniscono in prossimità dell'imbocco dell'invaso artificiale di Medau Zirimilis, il località "Camboneddu" . In particolare il Rio Camboni presenta nel suo tratto terminale prima delle confluenza con il Rio Casteddu un tratto tortuoso a meandri incastrati, sviluppando rilievi dalle creste pronunciate e valli dai fianchi particolarmente acclivi. Sulla destra idrografica del Rio Casteddu in prossimità dello sbarramento di Medau Zirimilis i rilievi si presentano invece più dolci e si evidenziano le aree di raccordo degli scisti, nei pressi di Perdiaxiu de Arcosu, dove affiorano alcuni lembi di copertura argillosa arenacea della formazione del Cixerri (auct.). L' invaso artificiale di Medau Zirimilis raccoglie le acque che confluiscano in due bacini idrografici distinti: uno principale del Rio Camboni e Sa Nai, questi hanno un andamento circa nord sud e scorrono pressoché paralleli fra loro, rimarcando l'andamento delle faglie principali, di particolare interesse paesaggistico, si presenta il tratto terminale del Rio Camboni con suggestivi e tortuosi meandri incassati. L'area del Rio Casteddu è caratterizzato un insieme di valli a V, ai quali si raccorda un reticolo idrografico di ordine inferiore sub dendritico. I processi morfogenetici considerati, sono stati rilevati nelle zone più alte del bacino dove si possono riconoscere il dilavamento correlato al deflusso superficiale delle acque, ruscellamento sia di tipo incanalato che diffuso, sulle coltri di alterazione sia granitiche che metamorfiche, evidenziando l'elevata ramificazione delle aste fluviali. Nelle zone più elevate a pendenze maggiori e con conseguente incremento dell'energia dei rilievi, si ha scarsa copertura vegetale, da luogo ai detriti di falda generati da processi gravitativi di crollo influenzati anche dalle caratteristiche di fatturazione della roccia, che in alcuni casi hanno innescato fenomeni di tipo *debris-flow* soprattutto in casi di precipitazioni di breve durata ma di forte intensità.

Nei fondovalle le coltri alluvionali costituite da materiali sciolti, quando si verificano forti precipitazioni, vengono alimentate sia da grandi quantità d'acqua che dal carico in sospensione degli affluenti minori, tale meccanismo, innesca, delle vere e proprie masse fluide, che hanno un forte potere erosivo in particolare sulle sponde e come scalzamento alla base dei versanti.

In altre aree, del settore nord est del bacino a prevalentemente componente scistosa in cui le morfologie sono più dolci e ondulate, l'erosione avviene con dilavamento superficiale e diffuso, con un potere erosivo da basso a moderato potere erosivo (Fig. 8 Carta della propensione al dissesto idrogeologico) anche in funzione di una minore acclività.

Negli anni precedenti al verificarsi di fenomeni alluvionali, 2002-2004 –novembre 2008, nell'area più a monte del bacino numerosi sono stati i danni subiti dalla viabilità, in tali occasioni i corsi d'acqua hanno infatti trasportato grandi quantità di materiali incoerenti sono stati mobilitati, all'interno dell'area di Camboneddu, immediatamente a monte dell'invaso.

### **Realizzazione del database geografico-fisico**

Allo scopo di acquisire l'insieme dei caratteri fisici e ambientali che potenzialmente possono influenzare il dissesto idrogeologico è stato costruito un database geografico implementato tramite la raccolta e l'elaborazione di dettagliate informazioni di base tratte dalla letteratura, correlato ad una attenta e dettagliata analisi delle riprese fotografiche aeree e importante inoltre il rilevamento in campagna, che consente una più diretta stima dei fattori più predisponenti, pertanto insieme dei dati rilevati ha permesso di costruire le basi informative cartografiche relative alla geologia, uso suolo, geomorfologia, esposizione dei versanti.

L'osservazione e interpretazione del territorio realizzata tramite le varie successioni di riprese aeree 1950, 1977, 2000, 2003, 2006 e il rilevamento in campagna hanno permesso di valutare le variazioni dovute ai fenomeni alluvionali.

Il verificarsi di fenomeni di crollo, debris-flow, ruscellamento superficiale ed incanalato, è stato verificato sul campo, ciò ha permesso di attribuire ai diversi fattori fisici in particolare correlazione tra la pendenza e i fenomeni di crollo, tra degradazione, alterazione del substrato ed acque incanalate, consentendo l'assegnazione dei pesi per l'*overlay mapping* dal quale è stata ottenuta la carta di sintesi finale. È stato evidenziato che in alcuni tratti del corso d'acqua dei primi ordini che l'entità del materiale trasportato era di natura prevalentemente granitica, con minor presenza di elementi di scisto, e che durante gli eventi estremi tale coltre alluvionale viene reintrodotto all'azione delle acque. L'intensa fatturazione dei graniti genera la formazione di blocchi a prismi con forma di parallelepipedo sovrapposti che frequentemente sono soggetti a fenomeni di ribaltamento. Le stesse litologie granitoidi sono interessate da arenizzazione che produce cospicue coltri sabbiose, a componente feldspatico quarzosa con un basso peso specifico, facilmente trasportate dalle acque dilavanti. In alcuni tratti vallivi si possono osservare lungo il tratto principale del Rio Casteddu ripe di erosione, che presentano fenomeni di scalzamento alla base, che producono la movimentazione delle coltri alluvionali che erano state generate da precedenti eventi alluvionali.

Dalle aree roccia affiorante localizzate nelle parti più alte pressoché alla sommità dei rilievi proviene una buona parte di componente solida grossolana sia di origine granitica, che metamorfica, originatasi sia per distacchi e crolli, che per processi di alterazione e degradazione meteorica. È stato osservato che i versanti esposti a NNW, presentano una vegetazione più sviluppata, a favore della stabilità quindi meno erodibili, mentre quelli aventi esposizione SSW, sono più aridi e con una più rada copertura vegetale, maggiormente soggetti a processi di degrado. Alla confluenza tra gli affluenti minori a l'asta principale del corso d'acqua, spesso sono presenti scariche di detrito a forma di conoide, costituite prevalentemente da blocchi e una buona percentuale di componente ciottolosa, proveniente sia dalle rocce granitiche che dagli scisti.

### **Propensione al dissesto idrogeologico: modello concettuale**

La valutazione della propensione al dissesto idrogeologico nell'area del Rio Casteddu è stata sviluppata tramite l'applicazione di un modello di overlay matematico elaborato su dati di origine in formato raster. Dalla predisposizione del database geografico, che include gli strati informativi sulla geologia, esposizione e pendenza dei versanti, uso del suolo, mappatura dei processi di degrado in atto e potenzialmente riattivabili, e di tutte le componenti ritenute importanti al fine di valutare i fenomeni di dissesto. Un modello numerico di riclassificazione e assegnazione di punteggi, è stato



scelto in modo opportuno da raggruppare in classi sia la litologia che le altre componenti fisico ambientali, e successivamente convertiti in formati raster impiegando un sistema di map-algebra.

La sommatoria ha consentito la realizzazione di un elaborato raster finale, nel quale i valori finali schematizzano, le aree a maggiore propensione al dissesto idrogeologico, bassa, media, elevata, molto elevata. Per l'impostazione del modello concettuale è stato previsto per ogni livello informativo, un peso di influenza assegnato sulla base delle evidenze geomorfologiche e geologiche mappate sul campo, generate durante particolari eventi pluviometrici estremi avvenuti.

Sulla base dei criteri esposti, possiamo definire la seguente espressione:

- Propensione al Dissesto Idrogeologico PDI= (G+P+U+GMI+E)

- G=Geologia - peso=0,25
- P=Pendenza o acclività dei versanti - peso=0,25
- U=Uso del suolo - peso=0,15
- GM=Caratteri Geomorfologici e Idrologici - peso=0,25
- E=Esposizione dei versanti - peso=0,10

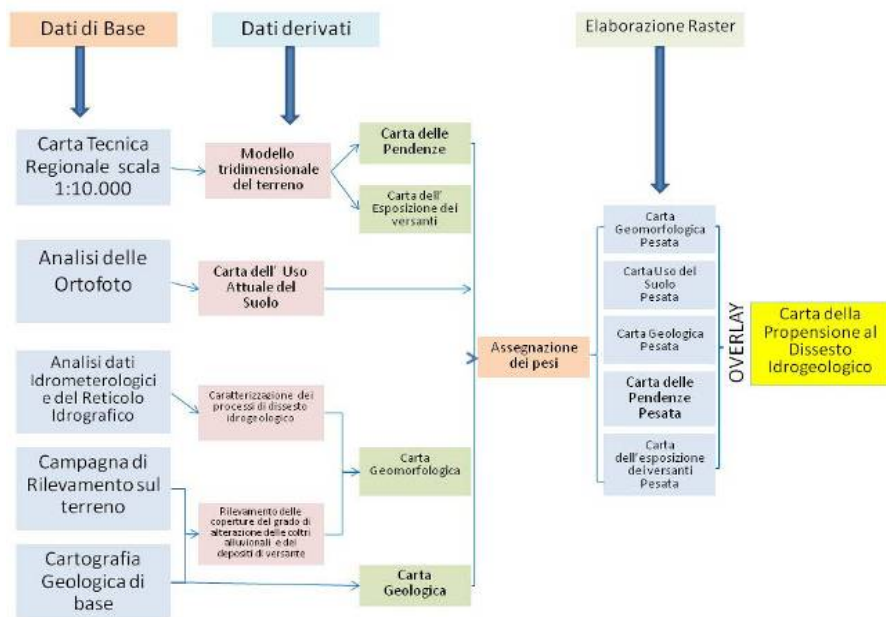


Figura 2 – Modello concettuale per la valutazione della propensione al dissesto idrogeologico.

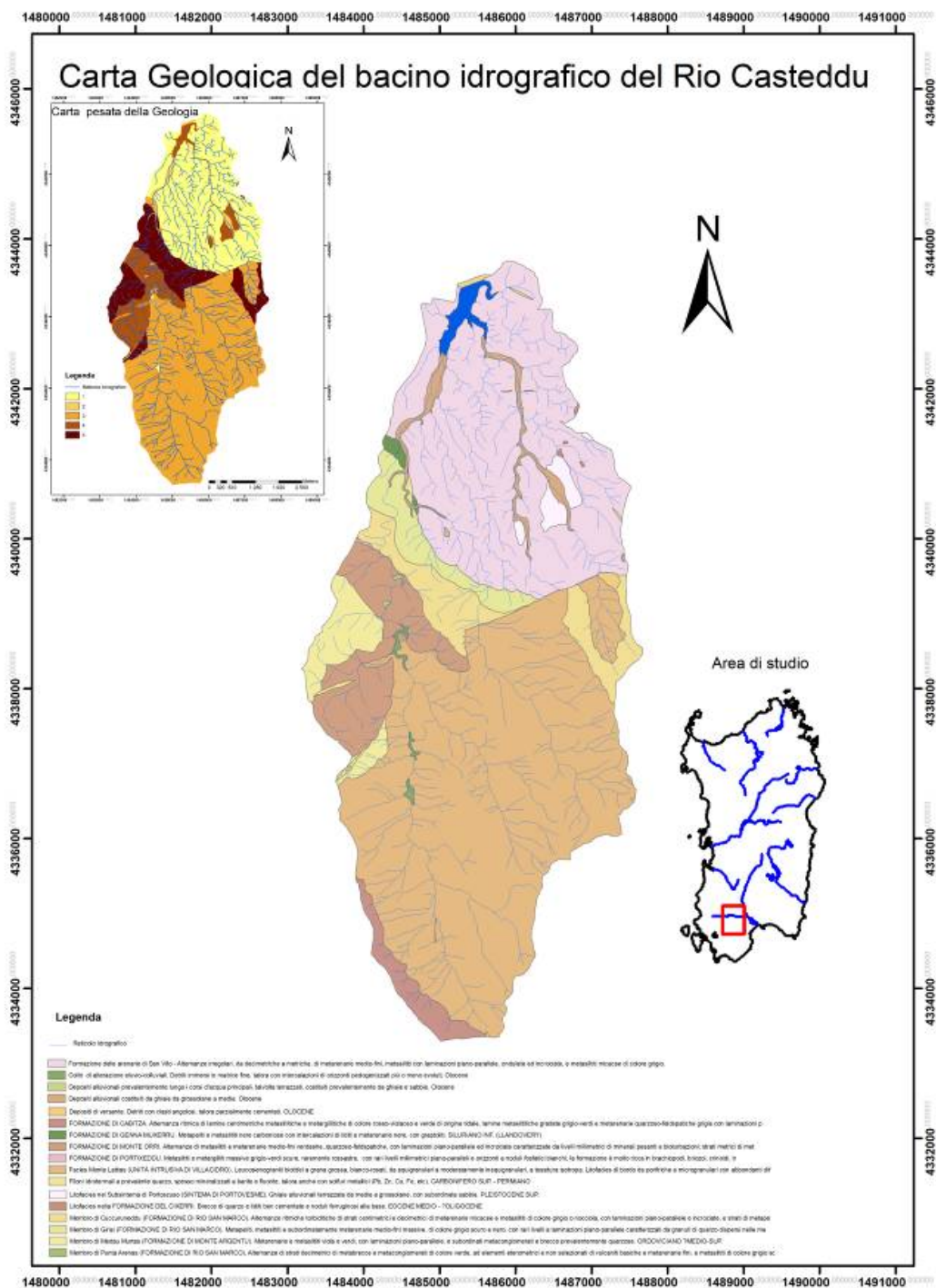


*Figura 3 – Carta Geologica e Carta pesata della Geologia.*

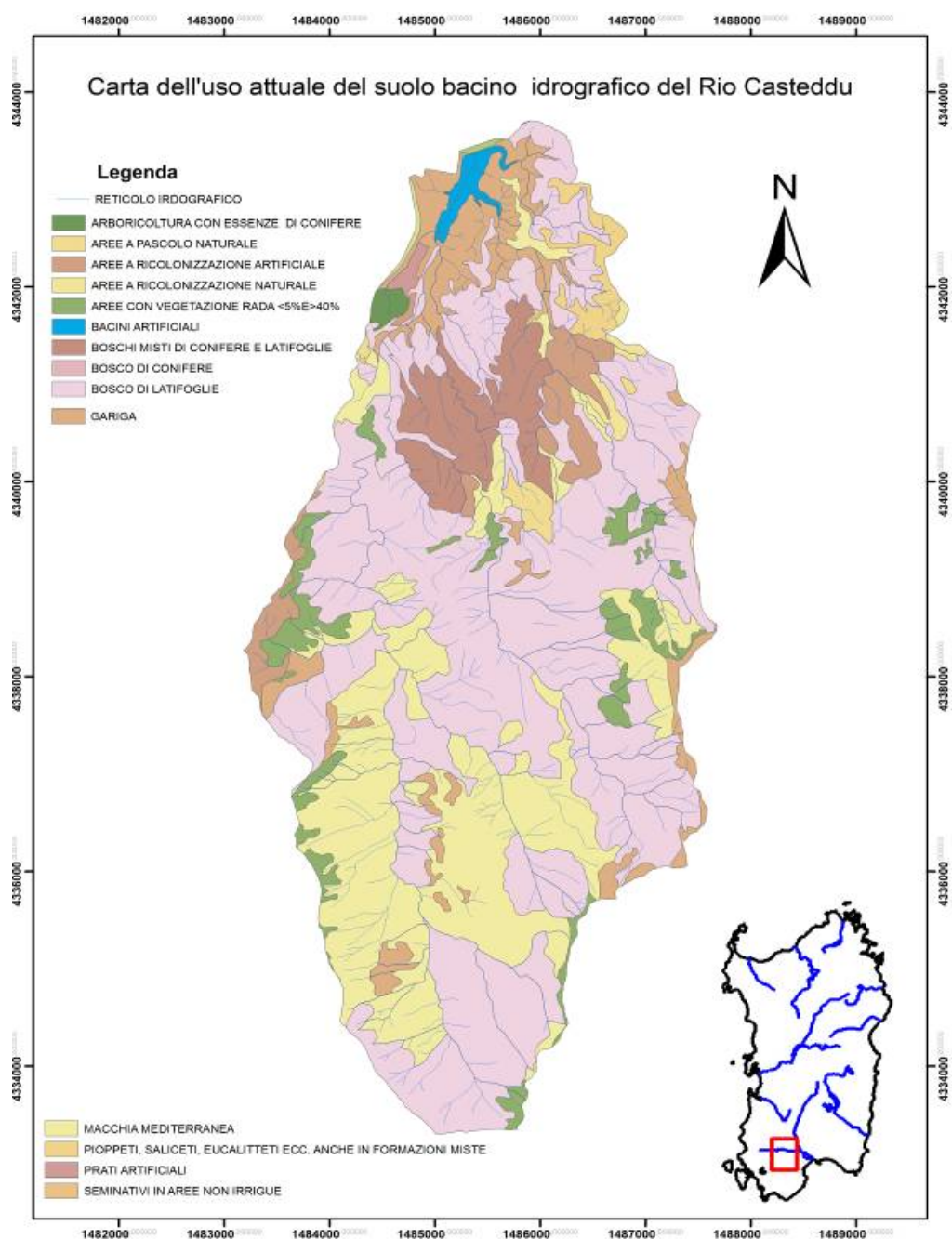


Figura 4 – Carta dell'uso attuale del suolo del bacino idrografico del Rio Casteddu.

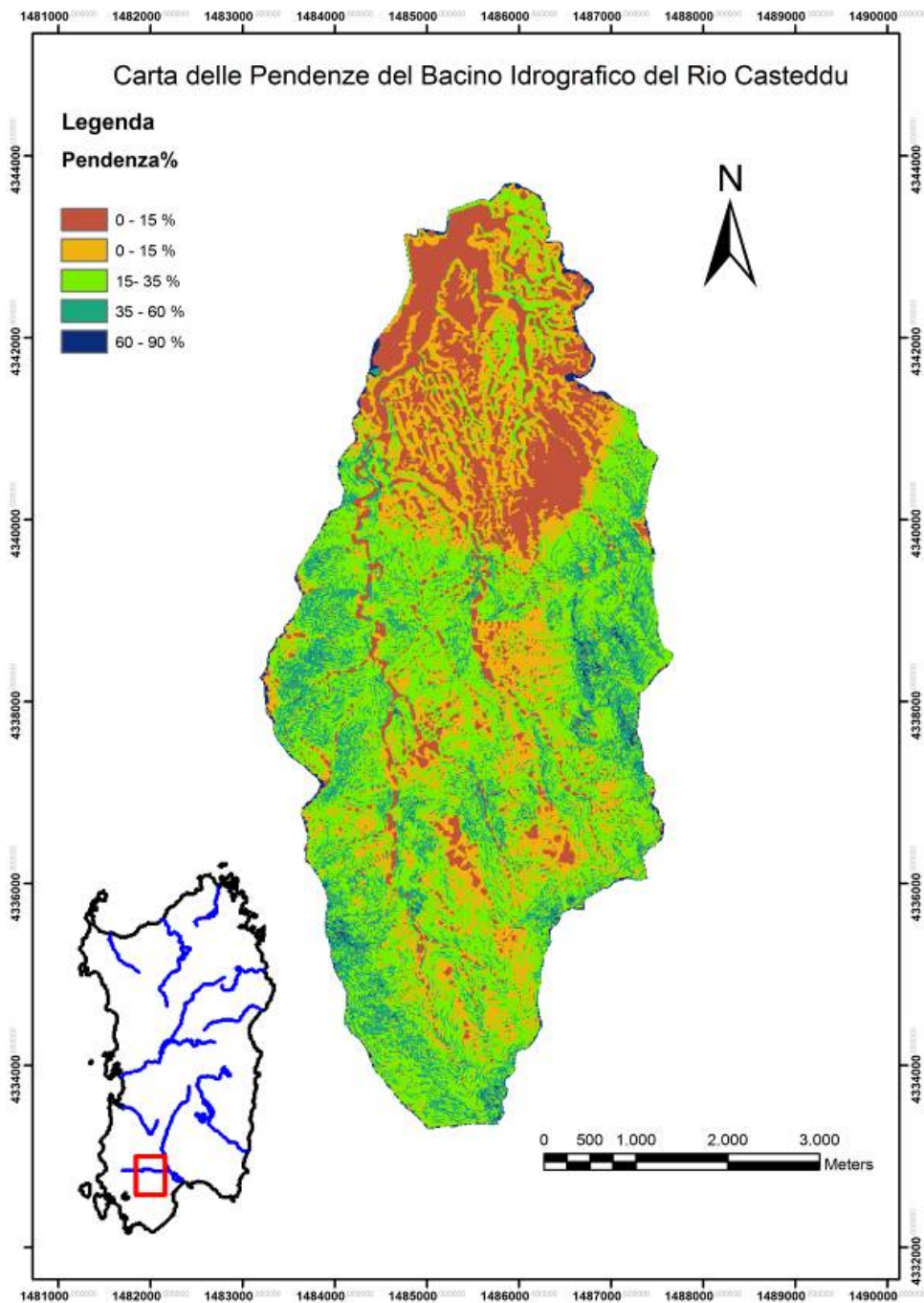


Figura 5 – Carta delle Pendenze.



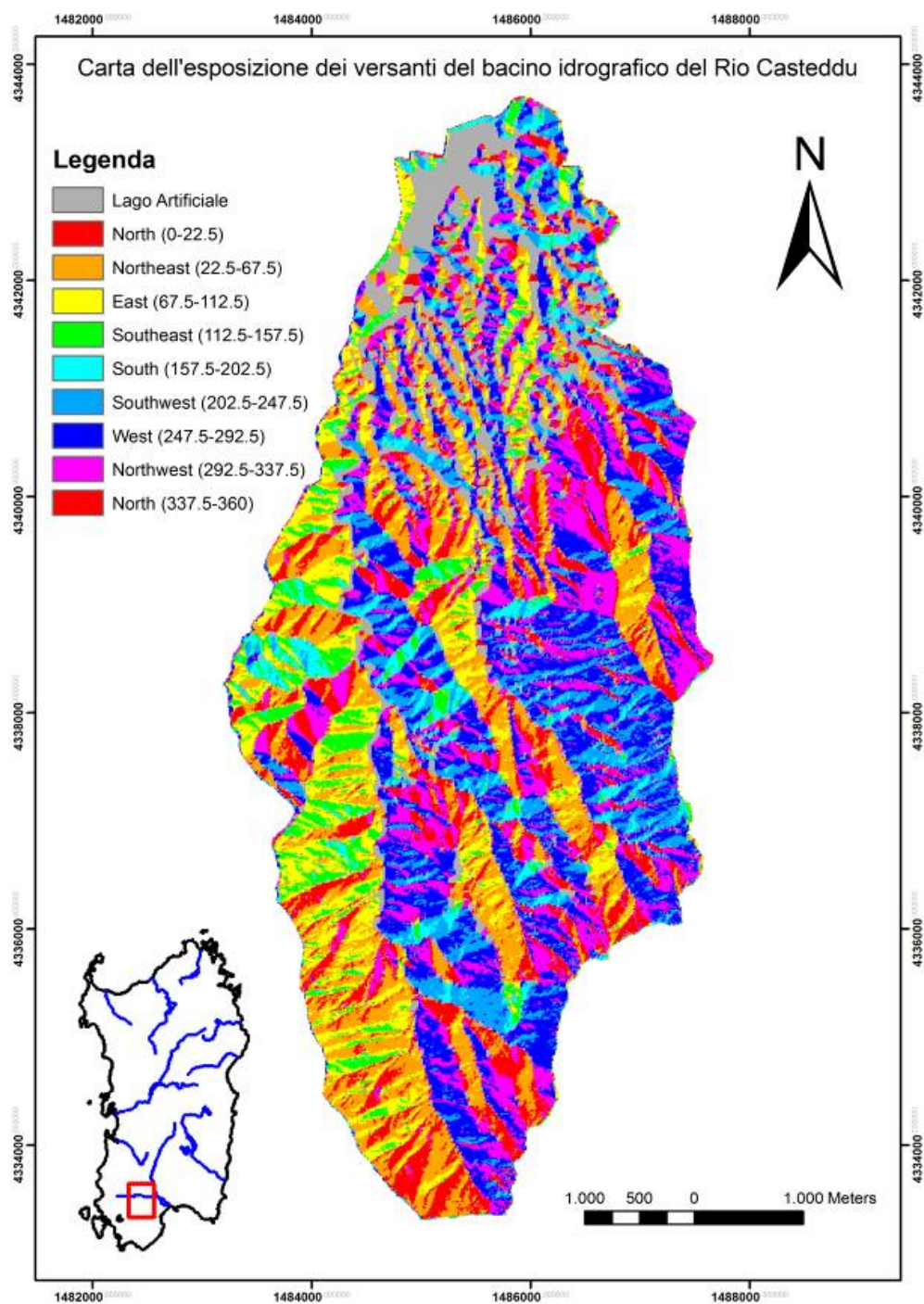


Figura 6 – Carta dell'esposizione dei versanti.

**Modello idrologico e stima del trasporto solido:**

per poter effettuare una stima del trasporto solido all'interno del bacino idrografico del Rio Casteddu, sono stati utilizzati i dati della stazione Meteorologica ubicata presso il lago artificiale di Medau Zirimilis, grazie ai dati messi a disposizione dell'ENAS Ente Acque della Sardegna, che durante lo studio sono stati riorganizzati ed elaborati, si è cercato di effettuare un primo approccio per una valutazione tramite il metodo di Fournier 1961 del trasporto solido all'interno del bacino idrografico sotteso dalla diga.

Si è reso necessario per avere dei dati di input corretti applicare prima dei calcoli che consentono di ricavare dei parametri importanti tra i quali il  $T_c$  ossia il Tempo di Corrivazione, ed infine ricavare anche se con relativa precisione le portate di piena massime per la sezione considerata.

A tal fine è stato necessario ricavare un insieme di parametri fisiografici del bacino idrografico, tramite gli strumenti GIS, tra cui, superficie del bacino in  $Km^2$  altitudine massima del bacino altitudine della sezione considerata, pendenza media del bacino.

Qui sotto la formula di Fournier (1961) per il calcolo dell'erosione in bacini di piccole e medie dimensioni.

$$LogE = 2,65 \cdot Log\left(\frac{P^2}{P_m}\right) + 0,46 \cdot LogH^0 \cdot TgI_m - 1,56$$

In cui:

- $H^0$  altitudine media del bacino
- $I_m$  pendenza media del bacino
- $A$  area del bacino
- $P_m$  precipitazione media annua

Nel nostro caso sono stati adottati

Risultati ottenuti

Erosione Sedimento trasportato in sospensione  $E=703.2 \text{ tonn}/Km^2/\text{anno}$

Erosione media bacino 20687,4 tonn/anno

Se si considera di un sedimento incoerente una densità media di circa 1,7-  $\text{tonn}/m^3$

Il volume trasportato sarà di circa 12.169,06  $m^3$

Istogramma della piovosità giornaliera misurata a Medau Zirimilis relativa al periodo dal 1/05/2005 al 30/06/2010

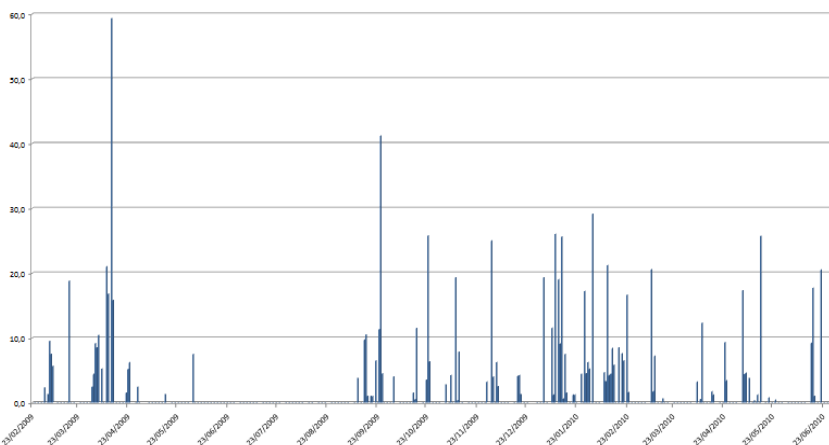


Figura 7 – Istogramma delle piovosità relative alla stazione metereologica di Medau Zirimilis.



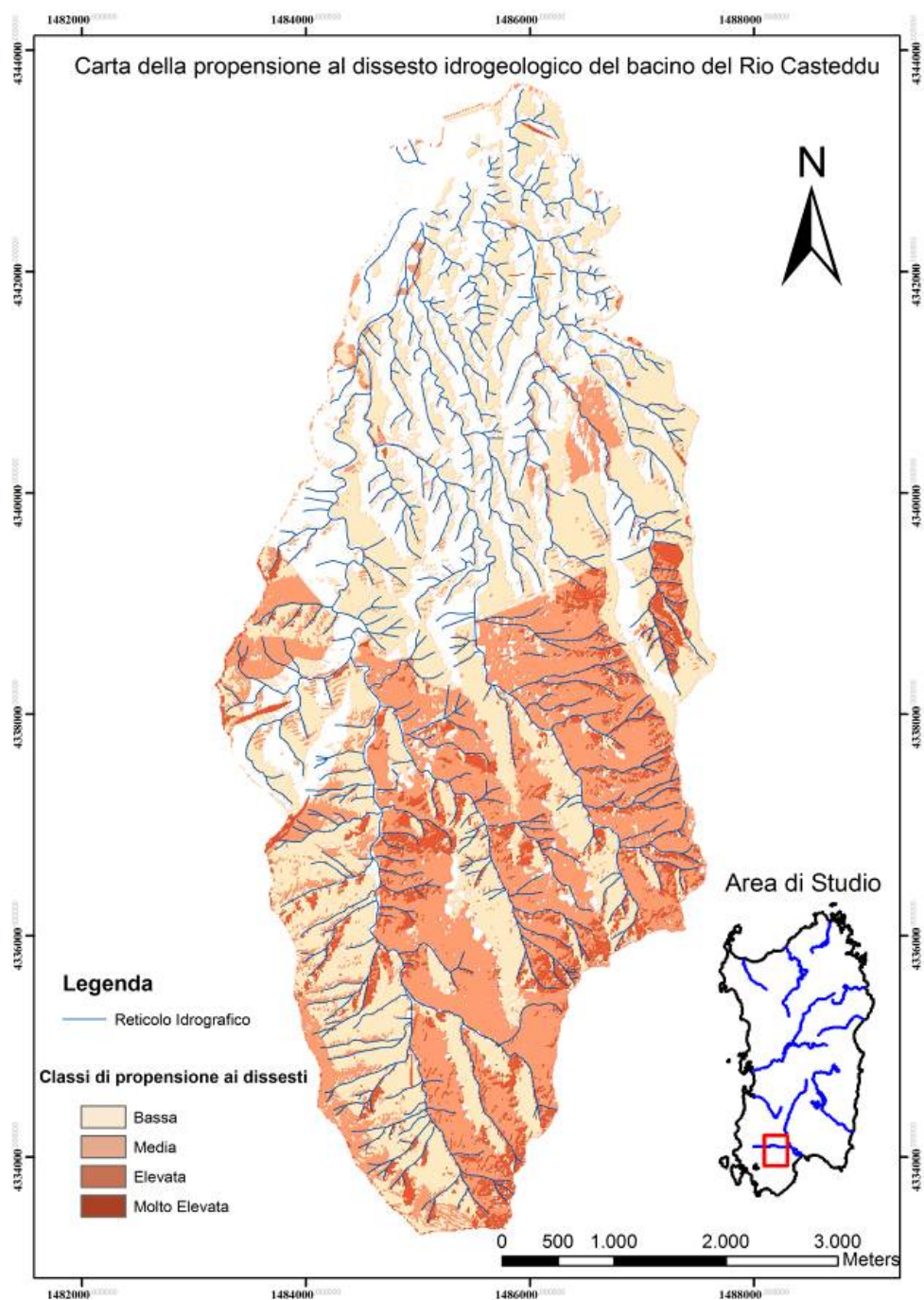


Figura 8 – Carta della propensione al dissesto idrogeologico.

### **Applicazione del modello - Risultati**

La carta di sintesi ottenuta dall'applicazione del metodo descritto, ha consentito di mettere in luce grazie alla valutazione di caratteri, geomorfologici, geologici, di esposizione dei versanti delle caratteristiche di uso del suolo e vegetazionali, dell'insieme del trasporto solido e fenomeni erosivi, le aree a propensione al dissesto idrogeologico. Si evidenziano le zone con maggior propensione alla produzione di materiali soggetti ad alterazione e degradazione, che sono potenzialmente suscettibili alla mobilitazione in caso di forti eventi pluviometrici.

Nel presente lavoro, si può definire che la parte più alta del bacino impostata sulle litologie granitiche presenta caratteri di alta densità di drenaggio, rilievi più elevati, con pendenze maggiori, che influenzano in misura maggiore la propensione al dissesto idrogeologico. Il risultato raster finale deriva dall'*overlay* sovrapposizione quindi delle "*cartografie pesate*" raster, quindi strati informativi che in questo caso sono stati classificati essenziali al fine di individuare le aree maggiormente soggette ai processi erosivi e con propensione ai fenomeni di dissesto idrogeologico. Questo tipo di analisi metodologica fornisce pertanto uno strumento semplice ed importante per un corretto uso del territorio, in previsione di una corretta pianificazione territoriale.

### **Ringraziamenti**

Si ringrazia il Prof. Felice Di Gregorio, docente di Geologia Ambientale presso il Dipartimento di Scienze della Terra – Università di Cagliari per i suggerimenti e la lettura critica del lavoro, e l'ENAS Ente Acque della Sardegna

### **Bibliografia**

- Ciccacci S., Fredi P., Lupia Palmieri E., (1981) *Contributo dell'analisi geomorfica quantitativa alla valutazione dell'entità dell'erosione nei bacini fluviali*. Boll. Soc. Geol. It. 99 pp 455-516
- Bralia A., Ghezzi C., Guasparri G., Sabatini G. (1981), *Aspetti genetici del batolite sardo-corso*, Rend. Soc. It. di Miner. e Petrol., 38(2), 701-764.
- Carmignani L., Pertusati P.C., Barca S., Carosi R., Di Pisa A., Gattiglio M., Musumeci G. & Ciccu Lai M.R., Loddo S., Puddu R., Serra G. (1995), *Lo studio geopedologico nella pianificazione degli interventi di difesa del suolo e di mitigazione della desertificazione. Salvaguardia della risorsa pedologica nel quadro della legge n. 183/89: il bacino del Rio Santa Lucia di Capoterra*, Atti del Convegno "Il ruolo della pedologia nella Pianificazione e Gestione del Territorio", Cagliari, 6-10 giugno 1995, 351-354.
- Ciccacci S., Fredi P., Lupia Palmieri E., (1981) *Contributo dell'analisi geomorfica quantitativa alla valutazione dell'entità dell'erosione nei bacini fluviali*. Boll. Soc. Geol. It. 99 pp 455-516
- Carmignani L., Coccozza T., Gandin A., Pertusati P.C. (1982) - *Lineamenti della geologia dell'Iglesiente Sulcis*. In: *Guida alla Geologia del Paleozoico Sardo*. Società Geologica Italiana, Cagliari
- Cinus D. (2008), *Il trasporto solido nei torrenti del Sarrabus e del Rio San Girolamo di Capoterra*, in "Il Geologo" periodico quadrimestrale dell'Ordine dei geologi della Sardegna, anno XV, n. 3, 12-21.
- Poll J.J.K., (1966) *The geology of Rosas Terraseo area, Sulcis, south Sardinia*. Leidse Geol. Meded, 117-208.
- Di Gregorio F., Pusceddu M., Serreli A. (2006), *Modello per la valutazione della pericolosità geomorfologia nel bacino del Rio Pula*, X Conferenza nazionale ASITA - Federazione delle associazioni scientifiche per le informazioni territoriali e ambientali, Bolzano, Novembre 2006.
- Poll J.J.K., e Zwart H.J. (1966) *On the tectonics of Sulcis area, south Sardinia*. Geol. En Mijnbouw, 43, 114-146.
- Pala A. Pecorini G. Porcu A. (1976) *Struttura Idrogeologica della soglia di Siliqua tra la fossa del Campidano e la fossa del Cixerri*. "Boll. Soc. Geol. It. 95, pag. 705-724, Roma.
- Leone F. (1973) *La serie paleozoica del settore di Orba - Monte Maiori (valle del Cixerri)*. Boll. Soc. Geol. It. 92, 621- 633.

## **Rischio integrato da fenomeni franosi, alluvionali ed erosione costiera nel bacino del Rio San Girolamo di Capoterra (Sud Sardegna)**

Paolo Frongia (\*), Giuseppe Piras (\*\*), Nicola Scionis (\*\*\*)

(\*) Dottorato di Ricerca in difesa del suolo, vulnerabilità ambientale e protezione idrogeologica, Università di Cagliari

(\*\*) Progetto Giovani Ricercatori, PO Sardegna FSE 2007-2013, L.R. 7 agosto 2007 n. 7

«Promozione della ricerca scientifica e dell'innovazione tecnologica in Sardegna»

(\*\*\*) Libero Professionista, Cagliari

### **Riassunto**

Nel presente lavoro è proposto un modello mirato alla valutazione del rischio geo-ambientale connesso a fenomeni alluvionali, franosi e di erosione costiera, la cui origine ed effetti sono spesso interconnessi tra loro.

Il territorio di riferimento per l'elaborazione e l'applicazione del modello è quello del bacino del Rio San Girolamo di Capoterra e la fascia costiera lungo la sua foce (Sud Sardegna).

A partire dall'analisi e dalla valutazione della pericolosità specifica relativa ai fenomeni considerati (frane, alluvioni, erosione costiera), il lavoro, sviluppato in ambiente GIS e attraverso elaborazioni di *overlay* aritmetico, ha condotto alla valutazione e mappatura del rischio integrato, in riferimento ai fattori specifici di vulnerabilità territoriale, qui intesa in termini di densità abitativa riferita ai diversi tipi di uso del suolo.

### **Abstract**

*In this paper proposes in exposed a model aimed at the geo-environmental risk assessment due to flooding, landslides and coastal erosion, whose origin and effects are often interconnected.*

*The territory of reference for the development and implementation of the model is the basin of the Rio San Girolamo Capoterra and coastline along its estuary (southern Sardinia).*

*Starting from the analysis and hazard assessment on specific phenomena (landslides, floods, coastal erosion), the work, developed in the GIS environment and through arithmetic overlay processing, has led to integrated risk assessment and mapping, with reference to the specific area of vulnerability, defined here in terms of population density related to the different types of land use.*

### **Inquadramento geo-ambientale**

Il territorio analizzato (Figura 1) è ubicato nel comune di Capoterra (Sardegna meridionale), ad ovest del Golfo di Cagliari, e comprende il bacino idrografico del Rio San Girolamo e la fascia costiera adiacente la sua foce, per una superficie complessiva di circa 36 km<sup>2</sup>. Sia la fascia costiera sia l'immediato entroterra risultano intensamente urbanizzati, in prevalenza con lottizzazioni residenziali create a partire dagli anni '70, mentre le zone a quote più elevate dell'interno sono caratterizzate da vegetazione boschiva e forestale in genere. La piana costiera e la fascia pedecollinare sono, invece, caratterizzate da superfici in condizioni di semi-naturalità e, soprattutto, indirizzate a pratiche agricole, con seminativi e colture arboree e orticole, talora praticate in serra.

Le rocce metamorfiche e granitiche del paleozoico e i depositi quaternari alluvionali, antichi e recenti, nonché i sedimenti di ambiente costiero e lagunare costituiscono i litotipi del substrato e di copertura del territorio in oggetto (Barca et al., 1986; Pala, 1983).

Nel settore più interno sono presenti i rilievi metamorfici e granitici paleozoici, piuttosto aspri e frastagliati, culminanti in vette aventi quote superiori a 700 m s.l.m. (M. Conchiori, q. 738; P.ta is

Postas, q. 612 m; P.ta su Aingiu Mannu, q. 605 m; M. S. Barbara, q. 612 m), incisi da profondi canali e valli a V, ai quali si innesta un articolato reticolo torrentizio di tipo sub-dendritico. A quote comprese tra 100 e 200 m s.l.m. il territorio è contraddistinto da forme ondulate modellate prevalentemente sui graniti alterati e fratturati. L'unità geomorfologica presente a quote minori, impostata in depositi quaternari di *glacis*, in alluvioni antiche e recenti, è caratterizzata da superfici lievemente acclivi o debolmente ondulate, per lo più in forma di terrazzi alluvionali.

La costa, essenzialmente bassa e sabbioso-ciottolosa, è contraddistinta da zone residenziali pressoché continue, con costruzioni ormai addossate al limite della linea di riva; le aree in condizioni semi-naturali, piuttosto degradate, risultano coperte da residui di vegetazione a cespuglietti e canneti e interessate da superfici stagnali e palustri.

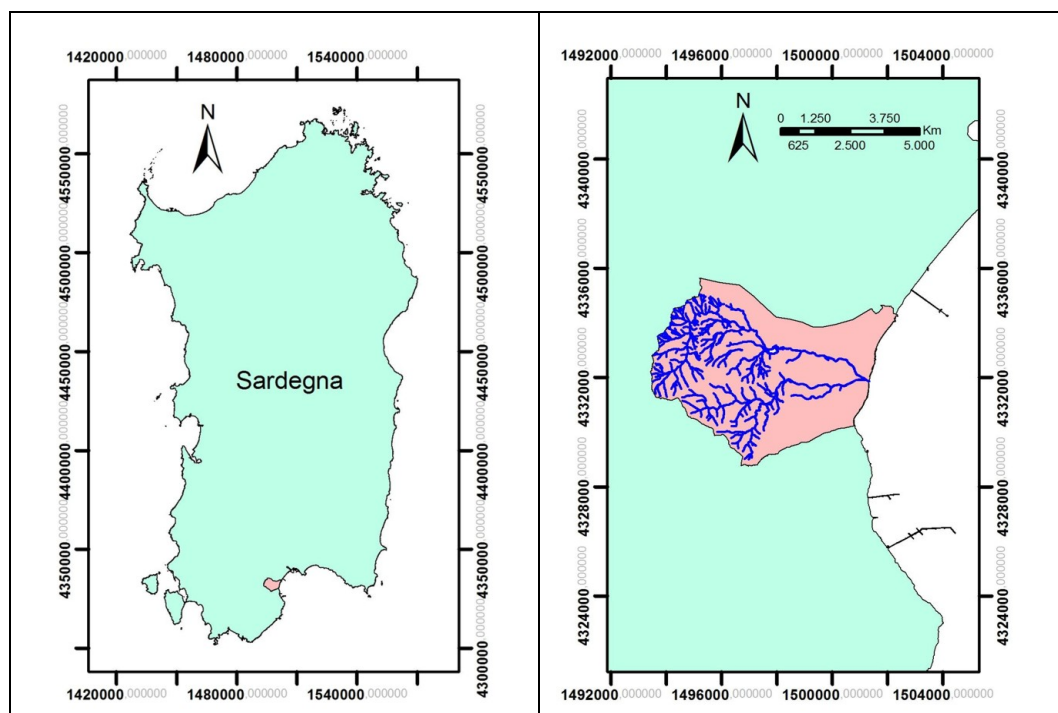


Figura 1 – Inquadramento territoriale.

### I processi fluviali

Il bacino afferente il Rio San Girolamo di Capoterra, comprendente anche l'importante affluente che in esso confluisce poco prima della foce, il Rio Masone Ollastu, ha una superficie complessiva di circa 27,10 km<sup>2</sup>.

Per quanto riguarda il drenaggio superficiale delle acque meteoriche si riconoscono, nelle zone più interne, in corrispondenza dei litotipi granitici e metamorfici, processi diffusi di dilavamento dei versanti legati al deflusso delle acque di ruscellamento areale e, come evidenzia l'elevata densità di drenaggio, una marcata incisione torrentizia che, nell'insieme, configura il complesso reticolo tributario dei principali rami fluviali del Rio San Girolamo e, poco più a sud, del Rio Masone Ollastu.

Alle quote minori il territorio, pianeggiante o leggermente ondulato, è interessato prevalentemente dall'azione delle acque di dilavamento diffuso, comunque a basso impatto, mentre i corsi d'acqua principali, il Rio San Girolamo e il Rio Masone Ollastu, assumono andamento divagante. In

occasione di eventi estremi, come avvenuto in data 22 ottobre 2008, a seguito di una manifestazione temporalesca con valori medi di ben 370 mm di pioggia in circa 4 ore, fenomeni di alluvionamento piuttosto estesi hanno comportato un'intensa sedimentazione lungo la piana costiera oltre notevoli danni a strutture e persone.

### **La suscettività all'erosione superficiale e i fenomeni franosi**

Il settore collinare e montuoso del territorio in esame, per le caratteristiche morfo-strutturali delle litologie granitiche e scistose affioranti, l'elevata acclività, l'esposizione dei versanti e la scarsa o assente copertura vegetale alle quote più elevate, è diffusamente interessato da accelerati processi di degradazione superficiale e fenomeni gravitativi che si manifestano attraverso consistente apporto solido negli alvei fluviali, nonché con fenomeni di crollo e accumuli detritici lungo i versanti e *debris flow* concentrati soprattutto nelle incisioni torrentizie di ordine minore (Frongia et al., 2011). L'attività erosiva delle acque incanalate è favorita, invece, dal consistente carico solido conseguente alla mobilitazione dei materiali sciolti dai versanti e rimobilitazione di sedimenti presenti in alveo, soprattutto in condizioni di piena che, nel settore, sono conseguenti a eventi pluviometrici intensi e concentrati nel tempo (Cinus, 2008). Processi di scalzamento e smottamenti spondali, soprattutto nei tratti pedecollinari e di pianura, il cui substrato è caratterizzato da depositi alluvionali poco o per nulla coerenti, sono gli effetti principale dell'azione erosiva delle acque incanalate.

### **La dinamica litorale e l'erosione costiera**

L'analisi delle immagini aeree riferite al periodo compreso tra il 1954 e il 2008 mostrano l'evoluzione della linea di costa e suggeriscono il *trend* dei processi di avanzamento e arretramento del litorale, anche in relazione alle modificazioni intercorse dell'assetto e uso del territorio.

La condizione di generale arretramento nell'ultimo cinquantennio del tratto di litorale analizzato (Atzeni, Ginesu, 1993), avente la conformazione tipica delle baie asimmetriche, è da correlare con la riduzione dell'apporto solido dovuto alla costruzione di piccoli invasi e laghetti collinari nei principali corsi d'acqua (Rio S. Girolamo e Rio Masone Ollastu, Rio S. Lucia, esterno all'area di studio), con i dragaggi ed escavazioni per la costruzione di pontili industriali, col regresso della posidonia (Regione Sardegna, Comune di Capoterra, 2006 e agg. succ.).

Il sostanziale arretramento della spiaggia, in prevalenza sabbioso-ciottolosa, è evidente nel settore costiero settentrionale, tra il Ponte Maramura e la Cantoniera Maramura, in quello centrale, a ridosso dell'area residenziale di Frutti d'Oro, e in quello più meridionale, in corrispondenza della Cala d'Orri, con tratti in erosione di poco oltre 100 m di larghezza. Nel restante litorale, a parte brevi tratti caratterizzati sostanzialmente da stabilità, gli effetti del processo erosivo risultano allo stato attuale, comunque, rilevanti, spinti a ridosso delle abitazioni residenziali oramai prossime alla linea di riva o rallentati da affioramenti di depositi sedimentari coerenti.

### **Valutazione della pericolosità integrata**

Il modello concettuale applicato per la valutazione del rischio integrato nel bacino del Rio San Girolamo e nella fascia litorale prospiciente la sua foce, legato a fenomeni di franamento, alluvionali ed erosione costiera, presuppone dapprima l'analisi della pericolosità specifica di ognuno dei tre fenomeni avversi considerati, quindi la loro integrazione e, infine, in rapporto agli indicatori di vulnerabilità prescelti, l'entità e la distribuzione del rischio (Figura 2).

In particolare, per la valutazione della pericolosità specifica è stato adottato un modello logico di dati numerici che, assegnati a quei parametri fisici che concorrono a definire le condizioni di potenziale instabilità, ne sommano i valori assegnati, dopo averli convertiti in formato *raster*, secondo un metodo di *map algebra*. Il criterio dell'addizione ha consentito la produzione, per ognuna delle fonti di pericolosità (frammenti, alluvioni, erosione costiera), di un supporto *raster* i cui valori risultanti, dopo un'operazione di riclassificazione, consentono di delimitare le aree suscettibili alla specifica sollecitazione, con distinzione del grado di magnitudo.



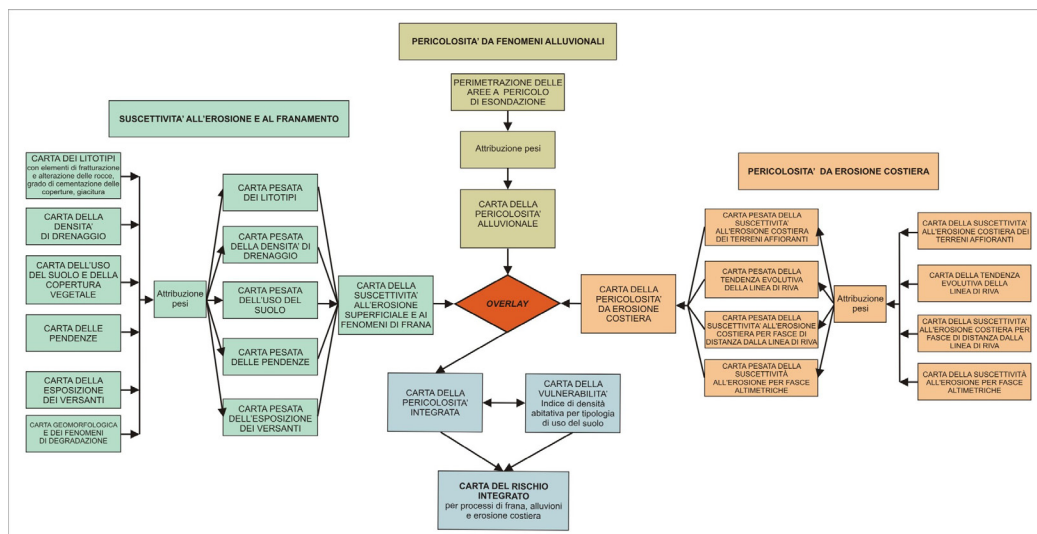


Figura 2 – Schema metodologico per la valutazione del rischio integrato.

Per quanto riguarda la valutazione della suscettività all'erosione superficiale e ai fenomeni di frana, a partire dalle informazioni ritenute influenti per la verifica delle condizioni di predisposizione e attivazione dei processi di degradazione superficiale, è stato effettuato l'*overlay* di dati in formato *raster* riferito a dati sulla litologia, la geomorfologia, l'uso del suolo, la densità di drenaggio, l'acclività e l'esposizione dei versanti; ad ognuno di questi livelli informativi, in particolare, è stato assegnato un fattore che, sostanzialmente, ne identifica il relativo peso di influenza, stabilito e calibrato sulla base delle caratteristiche geologiche e geomorfologiche del territorio esaminato e, soprattutto, delle evidenze riscontrate *in situ*. Il *raster* derivante, dopo un'operazione di riclassificazione, consente di individuare le aree suscettibili all'erosione e al dissesto per fenomeni gravitativi, distinte in quattro livelli di pericolosità crescente: basso (1), medio (2), elevato (3), molto elevato (4) (Figura 3).

Sulla base della perimetrazione delle aree a rischio idraulico previste nel Piano stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI) (Regione Sardegna, 2004), della mappatura delle aree a rischio di esondazione nel territorio comunale (Università di Cagliari, Comune di Capoterra, 2006) e, soprattutto, sulla base della valutazione della pericolosità idraulica attraverso un approccio geomorfologico, nonché dei limiti delle aree interessate da recenti manifestazioni alluvionali che, in particolare, nel settore esaminato hanno causato sostanziali danni in termini economici e di vite umane, è stato delineato il contorno relativo a condizioni di gravità crescente di pericolosità di piena, ai quali è stato attribuito una magnitudo crescente: nullo (0), basso (1), medio (2), elevato (3), molto elevato (4) (Figura 4). Si consideri che, allo stato attuale, come previsto dal PAI, il settore è interessato da nuove perimetrazioni dei limiti a diverso grado di rischio idraulico dopo l'accertamento della regolare esecuzione di interventi finalizzati alla riduzione dei pericoli idrogeologici.

La valutazione della pericolosità da erosione costiera è stata effettuata attraverso l'*overlay* degli strati informativi predisposti in formato *raster* e contenenti i parametri ritenuti particolarmente efficaci per la caratterizzazione delle condizioni di instabilità (Di Gregorio et al, 2010) e, nella fattispecie, individuati in:

- suscettività all'erosione costiera dei terreni affioranti;
- tendenza evolutiva della linea di riva;
- suscettività all'erosione costiera per fasce di distanza dalla linea di riva;
- suscettività all'erosione per fasce altimetriche.



Anche in questo caso, dopo un'operazione di riclassificazione dei valori risultanti dall'operazione di *overlay*, sono stati individuati i tratti di costa suscettibili all'erosione, distinti in quattro classi di pericolosità crescente: nullo (0), basso (1), medio (2), elevato (3).

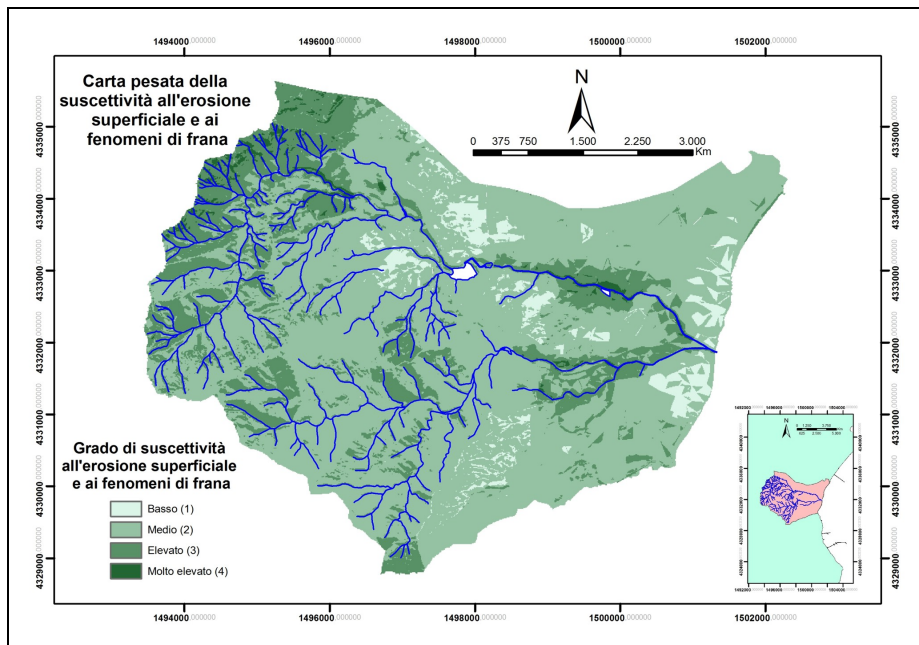


Figura 3 – Carta pesata della suscettibilità all'erosione superficiale e ai fenomeni di frana.

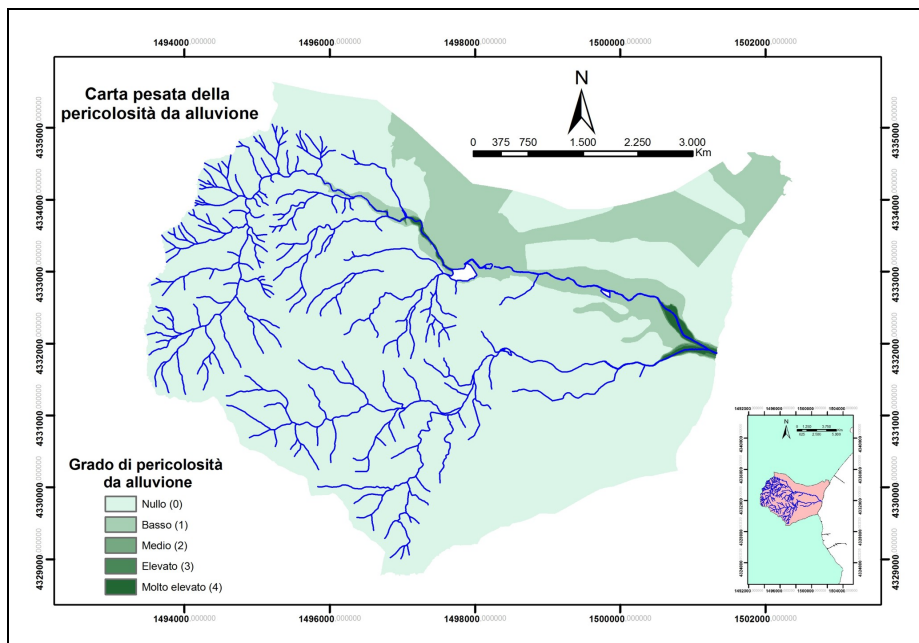


Figura 4 - Carta pesata della pericolosità da alluvione.

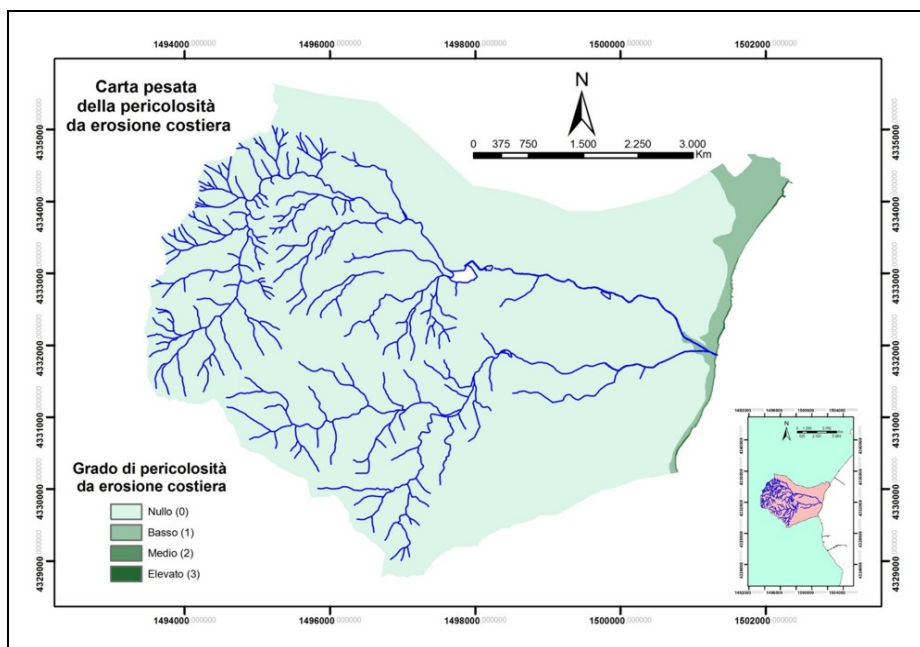


Figura 5 – Carta pesata della pericolosità da erosione costiera.

La valutazione della pericolosità integrata, secondo lo stesso procedimento logico, deriva dalla sovrapposizione dei dati in formato *raster* ottenuti dalle elaborazioni di sintesi relative alle pericolosità specifiche sopra descritte, opportunamente riclassificati al fine di individuarne l'entità e la distribuzione territoriale, attraverso quattro classi a magnitudo crescenti: basso (1), medio (2), elevato (3), molto elevato (4) (Figura 6).

### La valutazione del rischio integrato

La valutazione del rischio presuppone l'analisi della vulnerabilità territoriale condotta a partire da un'accurata identificazione degli elementi interessati dagli effetti (bersagli) delle potenziali perturbazioni.

Nel presente studio gli elementi a rischio sono sostanzialmente individuati nella popolazione potenzialmente esposta alle sollecitazioni considerate. La vulnerabilità, quindi, è stata identificata attraverso un indice di densità abitativa definito per ogni tipologia di uso del suolo, il quale tiene conto del calcolo degli abitanti equivalenti a partire dai dati di base della statistica ISTAT (2001).

Le diverse tipologie di utilizzo del territorio, seguendo questo approccio, sono state raggruppate in classi di densità abitativa, con lo scopo di costituire insiemi omogenei tra loro "pesati" attraverso un indice che, con grado crescente (basso, 1; medio, 2; elevato, 3; molto elevato, 4), fornisca, appunto, un'indicazione dell'esposizione degli elementi sensibili ai potenziali eventi calamitosi (Figura 7).

Dall'incrocio del modello *raster* della Carta della vulnerabilità, costruito secondo il procedimento anzidetto, e quello relativo alla Carta della pericolosità integrata ottenuto dalla "sommatoria" delle sollecitazioni specifiche legate a processi e fenomeni di degradazione superficiale e frana, alluvione e erosione costiera, è stata ottenuta, dopo opportuna riclassificazione dei pesi, la Carta del rischio integrato, nella quale vengono distinti quattro differenti livelli di magnitudo crescente: basso (1), medio (2), elevato (3), molto elevato (4) (Figura 8).

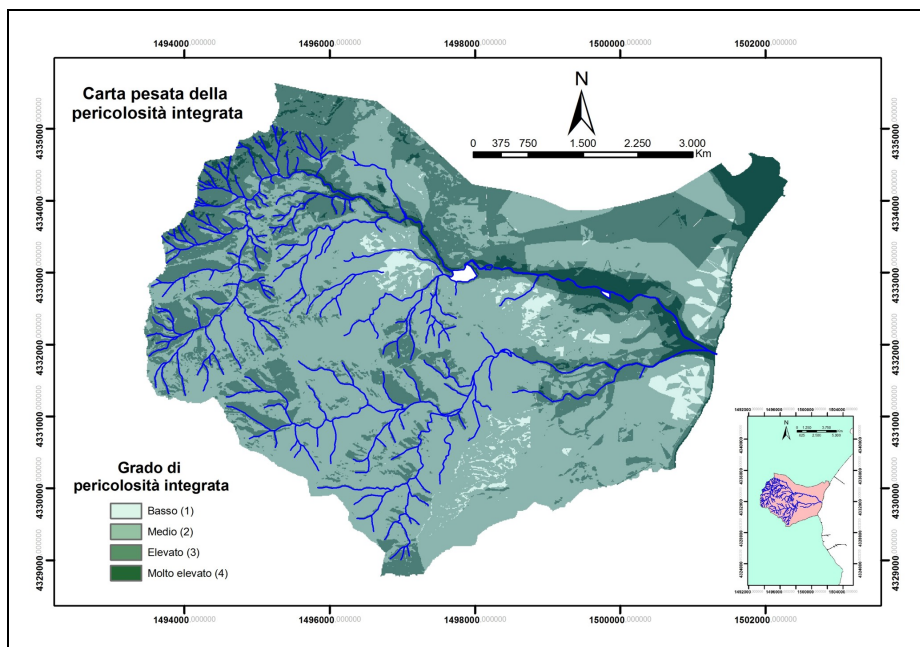


*Figura 6 – Carta pesata della pericolosità integrata.*

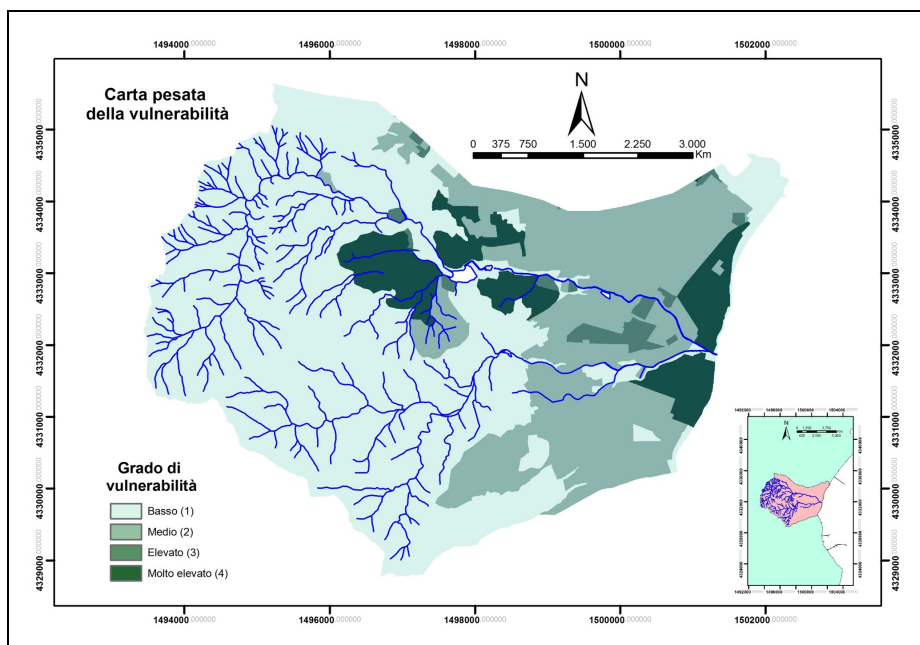


*Figura 7 – Carta pesata della vulnerabilità.*

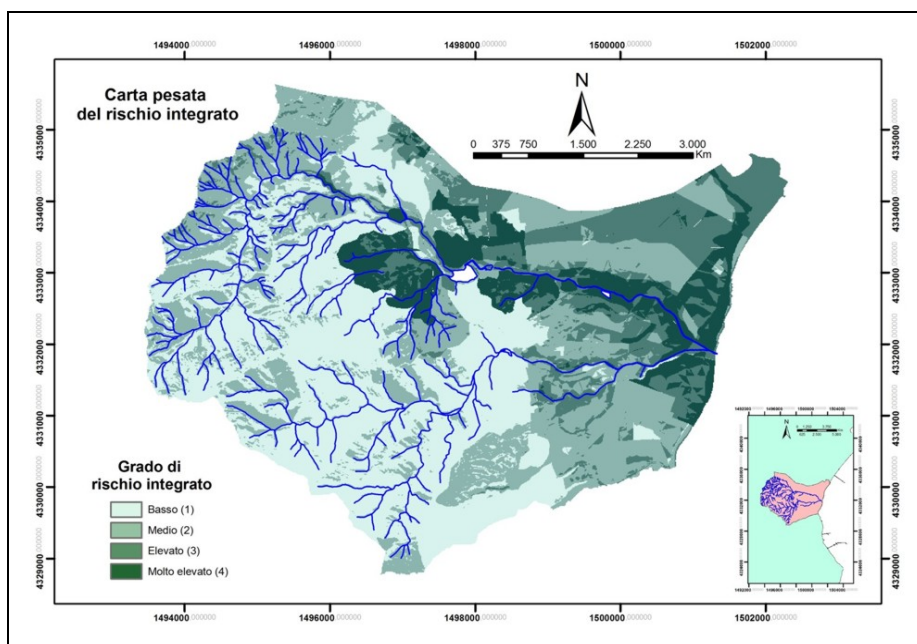


Figura 8 – Carta pesata del rischio integrato.

### Risultati conseguiti

Gli elaborati di sintesi derivanti dall'applicazione delle metodiche *overlay* sopra esposte nel bacino del Rio San Girolamo di Capoterra e nella fascia litorale prospiciente la sua foce consentono il riconoscimento delle aree e dei livelli di esposizione sia in riferimento a distinti fenomeni e processi fisici tipici in ambito costiero e continentale (erosione superficiale e franamenti, alluvioni, erosione costiera) sia relativamente ad un potenziale effetto congiunto.

In particolare, si distinguono gradi di esposizione piuttosto elevati, in relazione a fenomeni di erosione superficiale e franamenti, nei settori più interni ubicati a maggior altitudine e ad elevata densità di drenaggio, a fenomeni di esondazione, nelle aree di pertinenza fluviale del Rio San Girolamo, nel settore pedecollinare (Poggio dei Pini) e costiero, e a processi di erosione costiera, in tratti di litorale già caratterizzati, come desunto dall'analisi storica, da *trend* regressivo.

La Carta di sintesi del rischio integrato indica i contesti territoriali nei quali l'azione sinergica dei fenomeni naturali considerati è potenzialmente incisiva, come in ampi tratti della pertinenza fluviale del Rio San Girolamo dove, in particolare, i limiti delle aree di esondazione a differenti magnitudo, unitamente agli effetti dell'instabilità del versante, integrano anche contesti a elevato indice di densità abitativa, così come avviene in zona costiera in tratti particolarmente urbanizzati esposti all'azione dell'erosione marina e ai processi conseguenti consistenti apporti del deflusso incanalato non supportati dai limiti arginali (*spot* in Figura 9).

Questo tipo di approccio metodologico cartografico, sia in riferimento a fonti di pericolosità specifica sia in relazione all'azione sinergica delle diverse perturbazioni, può risultare fondamentale nella pianificazione e nell'uso del territorio e nelle attività di previsione e prevenzione del rischio geo-ambientale.

### Ringraziamenti

Si ringrazia il Prof. Felice Di Gregorio, Responsabile del Centro di Competenza Tecnologica su Analisi e Prevenzione del Rischio Ambientale della Sardegna (CCT APRAS), per i suggerimenti e la lettura critica del lavoro.



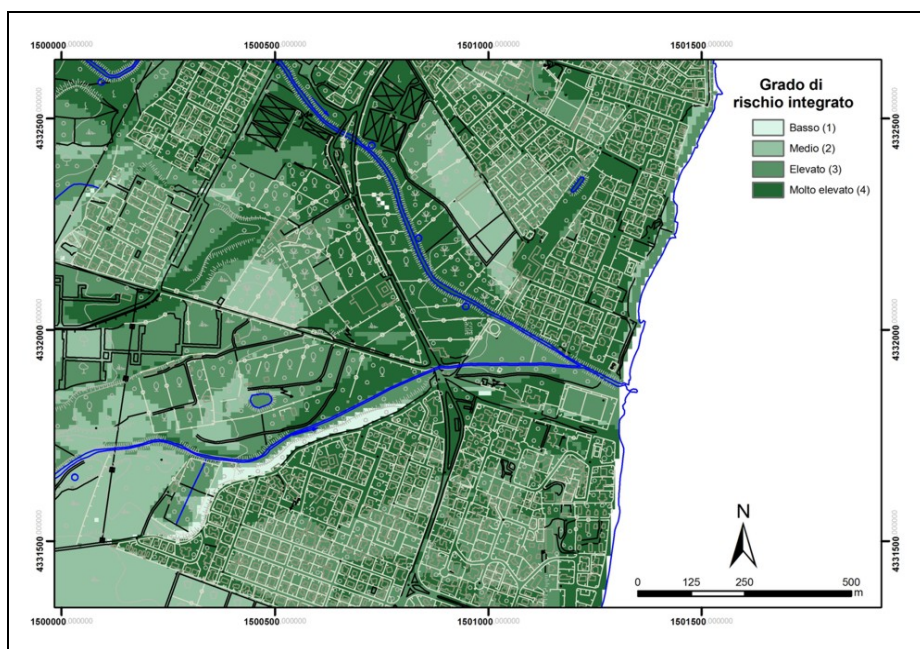


Figura 9 – Stralcio della Carta pesata del rischio integrato.

### Riferimenti bibliografici

- Atzeni A., Ginesu S. (1993), "L'evoluzione dei litorali della Sardegna e gli interventi di riequilibrio", in *"La difesa dei litorali in Italia"*, a cura di Aminti e Pranzini. Ed. Delle Autonomie, 11, 215/233.
- Barca S., Coccozza T., Leone F. (1986), "Il Paleozoico dell'area di San Leone: nuovi dati stratigrafico-strutturali (Sulcis, Sardegna SW)", *Boll. Soc. Geol. It.*, 105, 21-26.
- Cinus D. (2008), "Il trasporto solido nei torrenti del Sarrabus e del Rio San Girolamo di Capoterra", in *"Il Geologo"*, periodico quadrimestrale dell'Ordine dei geologi della Sardegna, anno XV, n. 3, 12-21.
- Di Gregorio F., Pusceddu M., Romoli E., Serreli A., Tronchetti C. (2010), "Valutazione del rischio d'erosione costiera nell'area archeologica di Nora (Sardegna SW)", *Atti 14ª Conferenza Nazionale ASITA, Brescia, 9-12 novembre 2010*, 869-874.
- Frongia P., Piras G., Scionis N. (2011), "Modellizzazione della suscettibilità all'erosione e al dissesto idrogeologico nel Rio San Girolamo di Capoterra (Sardegna SW)", *Atti del Convegno Nazionale "Dissesto idrogeologico. Il pericolo geoidrologico e la gestione del territorio in Italia"*, SIGEA - CNR-IRPI - AII, Roma, 10 giugno 2011 (in stampa).
- Pala A. (1983), "Studio geoidrologico della Piana di Capoterra (Sardegna meridionale)", *Rendic. Semin. Fac. di Scienze Univ. di Cagliari*, 53(2), 171-196.
- Regione Sardegna (2004), *Piano stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI), Individuazione e perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia (Legge 267 del 3-08-1998)*.
- Regione Sardegna, Comune di Capoterra (2006 e agg. success.), *Sistemazione e rinaturazione delle difese litoranee. Bonifica e sistemazione della fascia costiera, Progetto definitivo-esecutivo delle opere marittime Protezione del litorale*.





## **Il progetto SIT REM per la pianificazione faunistico-botanica del territorio: un caso di cartografia interoperante e partecipativa**

Emanuele Frontoni (\*), Adriano Mancini (\*),  
Primo Zingaretti (\*), Eva Savina Malinverni (\*\*)

(\*) DII, Università Politecnica delle Marche, 60131 Ancona  
e-mail: {mancini, frontoni, zinga}@diiga.univpm.it  
(\*\*) DICEA, Università Politecnica delle Marche, 60131 Ancona  
e-mail: e.s.malinverni@univpm.it

Gli autori afferiscono anche allo Spin-off SI<sup>2</sup>G, 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**

Il progetto SIT-REM ha come principale finalità la progettazione e realizzazione di un ambiente WEB GIS, interoperante e partecipativo per la consultazione, la modifica e la fruizione dei dati della Carta Faunistica e Botanica regionale delle Marche.

Suddividendo la regione in aree omogenee e indicando, per ognuna di esse, le specie tipiche presenti e la relativa copertura botanica, il progetto ha permesso la realizzazione di un vero e proprio sistema informativo regionale per tutti i dati faunistico-botanici.

La sua caratteristica fondamentale è la flessibilità e interoperabilità, ossia la possibilità di essere aggiornata nel tempo in relazione alla disponibilità di nuove fonti di dati ambientali, faunistici o socio-economici e la possibilità di calibrare le analisi a qualsiasi livello di dettaglio geografico e quantitativo desiderato, da quello regionale a quello provinciale. A tal fine sono diversi i livelli di analisi che vanno da query spaziali predefinite a un query builder ibrido (spaziale e quantitativo su campi dei database di appoggio), sino all'uso di WMS analizzabili attraverso GIS leggeri. Un ambiente di gestione dei dati permette sia la fruizione che la proposta di modifica di dati sia cartografici vettoriali, che alfanumerici.

### **Abstract**

The main goal of the SIT-REM project is the design and the development of a interoperable, participative WEB GIS environment for the information retrieval and data editing/updating of the botanic and faunal map of Marche Region.

By splitting the territory into homogeneous areas and by specifying the typical species present in each of them, together with the relative botanic cover, the project allows the realization of a proper regional information system for faunal-botanic data.

The main characteristics of the SIT-REM is its interoperability, that is its ability to be updated with the insertion of new types of environmental, faunal or socio-economic data and to generate analyses at any level of detail, geographical (from regional to local) or quantitative. The latter is obtained by different query levels: spatial queries, hybrid query builder and WMS usable by means of light GIS.

## **Introduzione**

La Carta faunistica e botanica regionale delle Marche, sviluppata nel corso del 2011 da SI<sup>2</sup>G, è lo strumento per la stesura e gli adeguamenti periodici della pianificazione faunistico-botanica, sulla base di uno studio interdisciplinare delle principali caratteristiche agro-forestali, biologiche e geologiche del territorio regionale. Suddividendo la regione in aree omogenee e indicando, per ognuna di esse, le specie tipiche presenti e la relativa copertura botanica, il progetto ha permesso la realizzazione di un vero e proprio sistema informativo regionale per tutti i dati faunistico-botanici.

La sua caratteristica fondamentale è la flessibilità e interoperabilità, ossia la possibilità di essere aggiornata nel tempo in relazione alla disponibilità di nuove fonti di dati ambientali, faunistici o socio-economici e la possibilità di calibrare le analisi a qualsiasi livello di dettaglio geografico e quantitativo desiderato, da quello regionale a quello provinciale. A tal fine sono diversi i livelli di analisi che vanno da query spaziali predefinite a un query builder ibrido (spaziale e quantitativo su campi dei database di appoggio), sino all'uso di Web Map Services (WMS) analizzabili attraverso GIS "leggeri" (con ridotto numero di funzionalità ma di facile reperimento e utilizzo).

Il raggiungimento di questi obiettivi richiede l'utilizzo di strumenti e metodologie atte a conseguire:

- l'acquisizione e l'analisi di dati ambientali, antropici e di uso del suolo misurabili quantitativamente su tutto il territorio regionale;

- l'acquisizione di dati di abbondanza e distribuzione faunistica per specie target riferibili a tutto il territorio regionale;

- l'elaborazione di modelli statistici di vocazione in grado di individuare in modo quantitativo ed oggettivo i legami tra l'abbondanza di ogni specie e le caratteristiche ambientali ed antropiche del territorio (es. legami specie-habitat);

- la realizzazione di cartografie in grado di rappresentare la vocazione di ogni comparto territoriale per ogni specie oggetto di ricerca;

- l'analisi della vocazione e della distribuzione effettiva delle specie per discuterne lo status e fornire proposte di gestione.

La P.F. Tutela degli animali e rete ecologica regionale della Regione Marche (dipartimento regionale per la protezione della fauna e della flora) provvede al periodico aggiornamento ed alla verifica dei dati della Carta ed il sistema mette a disposizione livelli autorizzativi che permettono l'inserimento dei dati anche a enti gestori dei parchi o ad altri enti preposti alla tutela faunistico-botanica del territorio.

Di seguito discuteremo sia gli aspetti informatici sia quelli metodologici nell'ambito del progetto, con particolare riferimento alle principali novità del progetto.

## **Aspetti informatici: WEB GIS, interoperabilità e partecipazione**

Il progetto del database (modello logico), di seguito presentato (Fig. 1), risulta coerente e in continuità con il progetto SIT-REM (Sistema Informativo Territoriale – Rete Ecologica Marche) Natura 2000 della regione Marche (Pesaresi et al., 2007) e ne ottimizza la struttura e le funzionalità.

Al fine di massimizzare e ottimizzare il processo di normalizzazione scientifica è stato preso in esame il processo metodologico di rilevamento per l'acquisizione dati (Fig. 2). L'analisi del processo metodologico (analisi dei requisiti) ha consentito di individuare e strutturare, in appropriate banche dati (Fig. 1), tutte le classi di analisi o entità (soggetto d'interesse per la base dati che raggruppa un set di informazioni omogenee tra loro; Braidì, 2004) evidenziando in modo logico (relazioni) le connessioni fra le entità o classi di analisi e descrivendo tutti i campi (attributi) associati alle relative tabelle o entità. L'attività di modellazione dei dati descritti tramite i diagrammi di relazione ER (Entità-Relazioni) ha permesso di rispettare i vari livelli di integrità dei dati (a livello di campo, di tabella, di relazione e *business rule*).

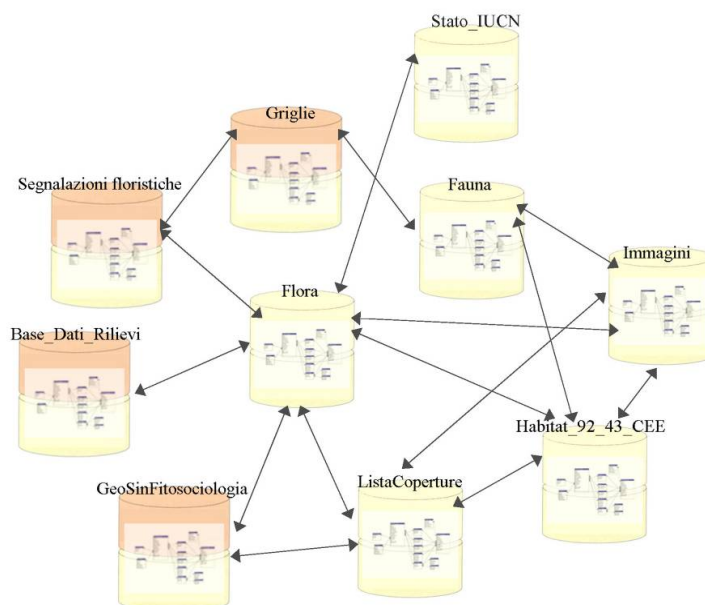


*Figura 1 – In figura sono rappresentati i collegamenti tra i database geografici e alfanumerici. I database in doppio colore sono quelli che contengono informazioni sia geografiche sia alfanumeriche, gli altri gestiscono informazioni esclusivamente alfanumeriche.*

### Geodatabase

Il geodatabase progettato rappresenta un efficace strumento di monitoraggio capace di tenere traccia nel tempo e nello spazio dei dati analitici, che derivano dalle indagini floristiche, fitosociologiche, geosinfitosociologiche e faunistiche e di supporto alla gestione della biodiversità. Esso consente di eseguire analisi multi-dimensionali sia d'interesse scientifico sia prevalentemente finalizzate alla gestione territoriale.

Inoltre, la struttura dell'archivio, poiché fondata su metodologie di progettazione collaudate e standardizzate, risulta facilmente modificabile o espandibile mano a mano che i requisiti cambiano o aumentano e pertanto dinamica e sensibile per gli sviluppi futuri ed integrabile con altre banche dati geografiche e/o alfanumeriche.

Il progetto SIT REM prevede, tra le più importanti novità, la pubblicazione di tutti i dati cartografici prodotti in formato WMS, al fine di garantire un semplice utilizzo degli stessi attraverso i moderni servizi web. È possibile utilizzare ogni forma di GIS capace di connettersi a servizi WMS. Ad esempio, con ArcExplorer, un semplice strumento GIS che viene distribuito gratuitamente da Esri Inc (CA), è possibile visualizzare dati geografici e utilizzare sia dati locali (shapefile e altri) o accedere a servizi GIS offerti da ArcIMS.

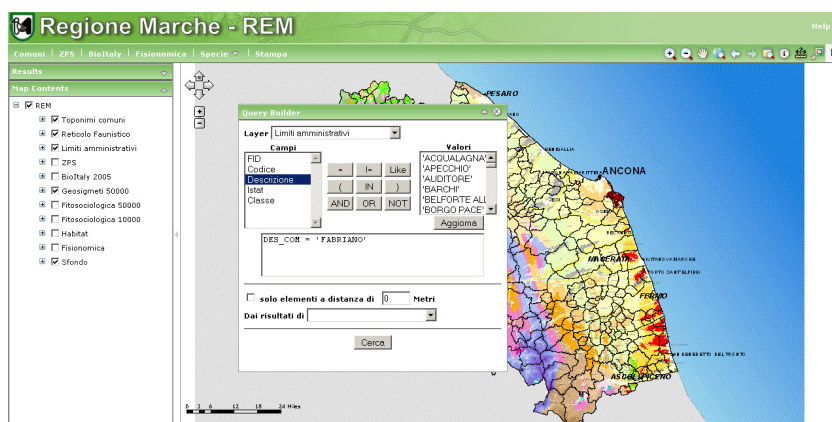


Figura 2 – Un esempio di interfaccia del geodatabase con i dati faunistici e botanici ricercabili da un query builder semplificato.

### Area dati

Lo scopo di quest'area dell'applicazione è di gestire i dati alla base del SIT REM ed in particolare i rilievi faunistici e botanici.

L'accesso a quest'area è riservato alle due categorie di utenti più avanzate: enti e regione.

L'autenticazione avviene tramite utente e password o attraverso le credenziali del sistema Cohesion (sistema regionale di single sign-on e identità federata).

L'area dati è relativa in particolare alla possibilità di raccogliere i rilievi provenienti da utenti esterni e catalogare tutto in un archivio strutturato sotto il diretto controllo della regione. Proprio in tale ambito si esplicita il concetto di partecipazione descritto nella introduzione.

Lo scopo di questa sezione è anche quello di condivisione dati, soprattutto tra enti preposti alla tutela del territorio, fornendo dati e shape per elaborazioni in locale o chiedendo l'inserimento di dati da parti degli enti stessi secondo modalità tecnicamente e scientificamente riconosciute.

La sezione contiene l'accesso alla tabella delle specie, la possibilità di inserire rilievi e la fenologia. All'interno di questa sezione sono presenti anche tabelle di archivio (vecchi rilievi con dati parziali) e una tabella di sola lettura ad uso degli enti che riporta le corrispondenze specie/habitat.

Come pure per la fauna, seppur in maniera più strutturata sulla base della maggiore complessità delle classificazioni botaniche, sono presenti le tabelle specie, le sue classificazioni secondo le tabelle habitat e geosigmeti ed i rilievi.

In tutti i casi è possibile filtrare e accedere ai dati in modalità di consultazione o scaricandoli massivamente in formati standard (CSV o Excel).

All'interno vi sono delle form per lo scambio di file e la pubblicazione degli stessi, le richieste tecniche di assistenza e le tabelle utili alle compilazioni dei formulari.

In questa sezione sono contenuti gli indirizzi per l'accesso ai servizi WMS. Tali servizi, appositamente documentati con un manuale a parte, consentono l'accesso ai dati in piena autonomia ed utilizzando GIS leggeri.

### **Metodologie nella rilevazione dei dati fitosociologici**

Il progetto propone un sistema di analisi integrate che porta alla conoscenza approfondita degli ecosistemi e del paesaggio, dei fattori che li caratterizzano e dei processi dinamici che sono alla base della loro origine e ne determinano la diffusione nello spazio e la trasformazione nel tempo.

Tale conoscenza rappresenta la base per una gestione consapevole della biodiversità di un territorio e ne consente il monitoraggio nel tempo. Infatti, la direttiva 92/43/CEE ha di fatto segnato una decisiva svolta nelle prospettive di gestione della biodiversità dei territori dell'unione Europea, per cui si è stabilita una corretta metodologia di indagine che permette di riconoscerla, evidenziarla e caratterizzarla per gli aspetti quali/quantitativi oltre che di monitorarla nella sua evoluzione nel tempo. La conservazione degli habitat proposta nella direttiva assume un elevato significato in quanto viene riconosciuto per la prima volta, in un documento comunitario, il valore del livello di organizzazione fitocenotico della biodiversità. In tal modo viene resa realmente operativa la salvaguardia delle specie vegetali ed animali in quanto realizzata, oltre che direttamente, anche mediante l'individuazione e la protezione degli ecosistemi in cui tali specie vivono. L'uso della terminologia fitosociologica per definire gli habitat (allegato I, Dir. 92/43/CEE) in una direttiva dell'U.E. assume un importante significato in quanto viene così riconosciuto il ruolo della fitosociologia quale scienza di base per la gestione della biodiversità.

### *Metodologie Scientifiche Utilizzate*

Il sistema di analisi integrate proposto, si fonda sul concetto che la vegetazione, in quanto componente fondamentale del paesaggio, entra a far parte degli ecosistemi dei quali costituisce un importante aspetto strutturale e funzionale. E' quindi un bioindicatore che permette di ottenere valide indicazioni sulla qualità degli ecosistemi e sul valore dei principali fattori ecologici che li caratterizzano. Per tale motivo è stato coniato, attraverso una visione organicistica delle comunità vegetali (associazioni), il termine di valenza ecologica di associazione la cui validità è stata statisticamente dimostrata mediante l'integrazione di dati sperimentali derivanti da analisi quantitative (Biondi & Calandra, 1998; Zuccarello *et al.*, 1999; Baldoni *et al.*, 2004). Le analisi fitosociologiche e geosinfitosociologiche, attraverso lo studio delle successioni seriali e delle unità di paesaggio vegetale, qualora opportunamente integrate con altre metodologie, come quelle GIS, permettono inoltre di proporre soluzioni gestionali per la conservazione della biodiversità di specie e di ambienti e di progettare la connessione tra siti a diverso grado di naturalità per migliorare la qualità diffusa nel territorio (Biondi, 1996; Biondi & Colosi, 2005).

Lo schema riportato in Fig. 3 illustra il processo metodologico organizzato e adottato specificatamente per massimizzare l'integrazione dei dati di natura biologica (flora, vegetazione, fauna) e fisica (geomorfologia, clima) per la realizzazione di un programma di conservazione della biodiversità vegetale, specifica e cenotica, e del paesaggio vegetale. Tre dei quattro blocchi principali corrispondono ad altrettanti approcci di analisi delle componenti biologiche del paesaggio: la vegetazione, la flora e la fauna (Biondi *et al.*, 2007). Per quanto riguarda la componente floristico-vegetazionale sono riportati, per ogni approccio, i relativi stadi di lavoro. Esternamente ai blocchi principali compaiono i prodotti derivanti dalle varie fasi di analisi, alcuni dei quali entreranno nella banca dati della biodiversità predisposta *ad hoc* (tabelle fitosociologiche, carta floristica, carta della vegetazione, carta degli habitat), altri saranno funzionali per definire le indicazioni di monitoraggio e gestione degli habitat comunitari e prioritari (carta sinfitosociologica, carta geosinfitosociologica).

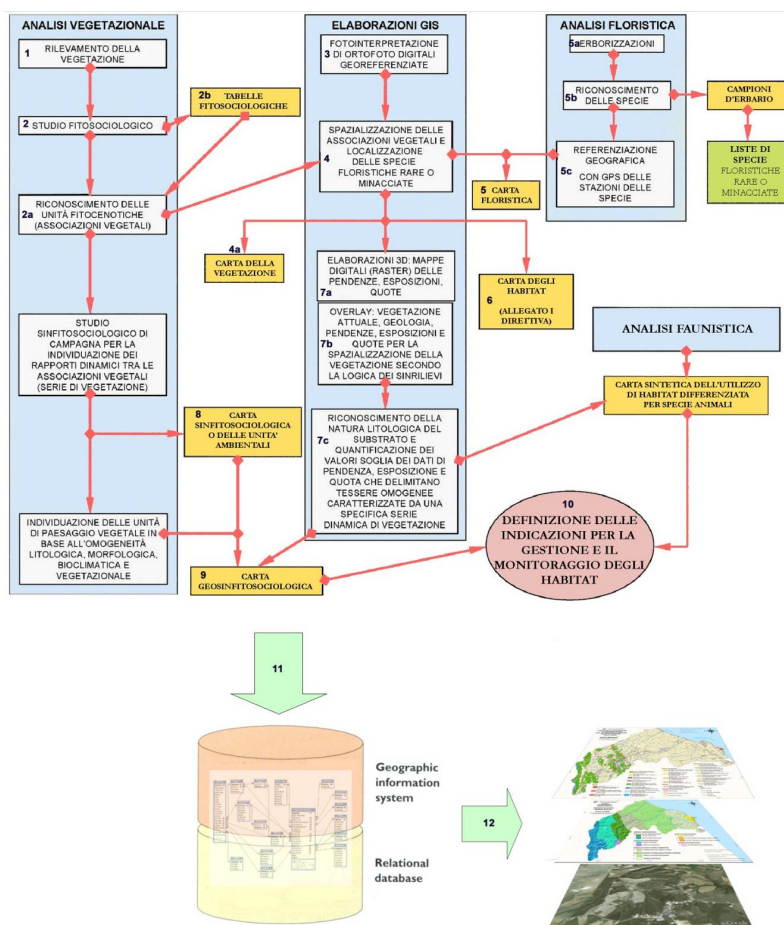


Figura 3 – Schema metodologico per l'analisi integrata del paesaggio vegetale.

### Il rilievo fitosociologico

Il rilevamento della vegetazione viene condotto secondo il metodo fitosociologico della Scuola Sigmatista di Zurigo-Montpellier e successivi sviluppi che hanno promosso l'evoluzione della scienza fitosociologica verso l'analisi integrata del paesaggio vegetale.

L'oggetto di studio della Fitosociologia è l'associazione vegetale: un aggruppamento stabile con il mezzo ambiente caratterizzato da una composizione floristica determinata statisticamente validata. Lo studio della vegetazione sul terreno avviene tramite l'esecuzione di rilievi fitosociologici (1 in Fig. 3).

Il rilievo fitosociologico viene effettuato scegliendo una superficie omogenea sulla quale vengono fatte osservazioni quali-quantitative sulle caratteristiche che descrivono la stazione:

- Località e data del rilevamento
- Altitudine, esposizione e inclinazione della stazione
- Tipo di vegetazione (bosco, prato, mantello ecc.)
- Caratteristiche generali del substrato (geologia, litologia, suolo, ecc.)
- Grado di ricoprimento generale della vegetazione
- Struttura della vegetazione (stratificazione verticale)
- Coordinate geografiche della stazione.



Dopo l'annotazione delle caratteristiche generali sulla stazione si passa alla fase centrale del rilievo che si compone delle seguenti attività:

- Compilazione della lista di tutte le specie presenti all'interno dell'area prescelta
- Attribuzione alle varie specie del valore di copertura secondo la scala di abbondanza-dominanza e di socialità secondo le scale proposte da Braun-Blanquet.

Il rilievo fitosociologico, con il suo bagaglio di informazioni qualitative e quantitative (rappresenta il sistema di rilevamento di maggior dettaglio in ambito ecologico) rappresenta il punto di partenza per qualsiasi elaborazione successiva.

#### *Elaborazione dei rilievi fitosociologici*

Dopo l'esecuzione di numerosi rilievi si compila una matrice (tabella bruta) dove le colonne corrispondono ai rilievi effettuati e sulle righe le specie floristiche rinvenute.

Su tale matrice vengono eseguite elaborazioni che evidenziano le caratteristiche statistico-floristiche che stanno alla base della definizione dell'associazione vegetale.

In particolare viene effettuata sulla tabella bruta la *cluster analysis* o analisi dei gruppi utilizzando indici di similarità che crea una matrice di somiglianza o dissomiglianza tra i rilievi secondo la composizione floristica. Quest'ultima matrice viene rappresentata graficamente, tramite l'applicazione di algoritmi agglomerativi gerarchici, in un dendrogramma che evidenzia le somiglianze tra i gruppi di vegetazione individuati.

Tale metodologia porta al riconoscimento delle fitocenosi o associazioni vegetali (2.a in Fig. 3), espresse nelle tabelle fitosociologiche (2.b in Fig. 3) e alla classificazione sintassonomica dell'associazione stessa e di fatto ad un appropriato riconoscimento dell'habitat corrispondente indicato dalla direttiva 92/43/CEE.

#### *Spazializzazione e territorializzazione delle associazioni vegetali*

I dati delle analisi portano alla produzione di rilievi e tabelle fitosociologiche che consentono l'attribuzione delle diverse tipologie fisionomiche alle associazioni vegetali. Tali dati sono stati archiviati e associati al rilevamento cartografico effettuato per superfici (elemento geometrico poligono del modello vettoriale per la rappresentazione di dati nello spazio) rispettando le relazioni topologiche di adiacenza e non sovrapposizione. Il disegno dei poligoni (*features*) viene realizzato direttamente a video (3 in Fig. 3), tramite interpretazione di ortofoto digitali a colori del portale cartografico nazionale ([pcn.minambiente.it](http://pcn.minambiente.it)) scala nominale 1:10000, con continua e contemporanea verifica tramite rilevamenti di campagna. La singola entità poligonale o campitura tracciata (*feature*) opportunamente inserita nel geodatabase (*feature class* "COPERTURE\_10000"), rappresenta un'area concretamente definita di copertura vegetale omogenea dal punto di vista fisionomico, fisionomico strutturale ed ecotonale (con una composizione strutturale intermedia come praterie con arbusti o alberi e così via) fitosociologico e geosinfitosociologico.

La scala di dettaglio per la presentazione cartografica (scala nominale) è 1:10000.

La risoluzione al suolo minima standard è di 5 m, la superficie minima standard è di 200 m<sup>2</sup>.

Solo per particolari tipi fitosociologici (importanti dal punto di vista conservazionistico) e/o di habitat sensu direttiva è ammissibile realizzare "micro" poligoni, cioè al di sotto della superficie minima standard.

Per i rilievi fitosociologici effettuati, localizzati tramite GPS l'elemento geometrico utilizzato è il punto.

Il sistema di riferimento cartografico adottato è Roma 1940 Gauss-Boaga fuso Est coerentemente con la Carta Tecnica Regionale delle Marche.

La spazializzazione delle associazioni vegetali (4 in Fig. 3) è l'attività fondamentale per un'accurata realizzazione della carta della vegetazione (fitosociologica).

La carta della vegetazione e tutte le informazioni a essa associate, opportunamente normalizzate, archiviate nel *geodatabase* permettono di elaborare e derivare tematismi fondamentali quali cartografie floristiche (5 in Fig. 3) tenendo conto della combinazione floristica tipica di ogni

associazione vegetale e di tutte le erborizzazioni (5.a Fig. 3) che si effettuano durante la fase di esecuzione dei rilievi fitosociologici e permettono inoltre di derivare tramite opportuna lettura scientifica, dell'ultimo manuale di interpretazione degli habitat dell'Unione Europea – EUR27 e del “Manuale italiano di interpretazione degli habitat della direttiva 92/43/CEE”, la cartografia degli habitat sensu direttiva 92/43/CEE (6 in Fig.3).

Successivamente, applicando le teorie della sinfitosociologia e geosinfittosociologia alla carta della vegetazione, con l'ausilio di tecniche statistiche quali *cluster analysis*, tecniche di statistica geografica e operazioni geografiche di *overlay*, è possibile effettuare una valutazione integrata delle caratteristiche geomorfologiche e vegetazionali e quindi riconoscere e delimitare le unità di paesaggio vegetale alla scala di analisi prescelta. Tali unità sono potenzialmente interessate da formazioni vegetali collegate in termini seriali e/o catenali, la cui composizione floristica si ripete statisticamente in funzione dei fattori ecologici (7.a, 7.b, 7.c in Fig.3).

In tal modo l'osservazione conduce alla creazione di un modello teorico che si esplicita nella definizione dei sigmeti e dei geosigmeti (informazioni inserite opportunamente nel *geodatabase feature class* “Coperture\_10000”), resi evidenti nella cartografia dinamica del paesaggio vegetale, carte sinfitosociologiche (8 in Fig. 3) e carte geosinfittociologiche (9 in Fig. 3). Pertanto, riconoscendo le relazioni biologiche e geomorfologiche e creando il modello del territorio è possibile, attraverso un processo induttivo, attribuire la potenzialità vegetazionale anche a quei territori profondamente trasformati dall'uomo soprattutto in seguito all'attività agricola.

Tali dati sono fondamentali per l'interpretazione e la quantificazione delle dinamiche paesaggistiche perché permettono di capire come una formazione evolverà o involverà floristicamente a seguito del sopraggiungere o del cessare di un input esterno al sistema vegetale o quali sono le cause che ne determinano l'origine e il mantenimento.

E' questo l'elemento centrale per rendere realmente attuabili gli obiettivi della Direttiva Habitat (10 in Fig. 3). Infatti, gli habitat si identificano con determinate associazioni vegetali che spesso rappresentano degli stadi transitori di una successione vegetale e sono pertanto soggetti ad una più o meno rapida trasformazione. Per mantenerli e salvaguardare le specie animali e vegetali che sono strettamente ad essi legate occorre identificare i fattori che ne determinano la stabilità nel tempo. La gestione degli habitat si baserà quindi essenzialmente sul mantenimento di tali fattori.

### **Metodologie nella correlazione diretta vegetazione/specie animali per habitat di utilizzo/zona**

Oltre a quanto già riportato nel paragrafo precedente, relativamente agli aspetti naturalistici, in questo paragrafo verranno affrontate le problematiche informatiche relative alla correlazione diretta vegetazione/specie animali per habitat e per zona.

In realtà questo aspetto non presenta difficoltà dal punto di vista informatico, in quanto sono possibili diverse soluzioni, tra cui localizzare e/o associare l'habitat di una specie animale sia a un'intera zona vegetazionale che soltanto a una sua parte. Il problema, se tale si può considerare, è solo di tipo scientifico naturalistico, nel senso che sarà solo responsabilità degli esperti faunisti se un'ampia zona con unico codice botanico si possa tutta o solo parzialmente associare all'habitat di una specie animale.

Poiché tale questione, almeno in passato è stata considerata molto importante, si prevede nella proposta attuale di includere strumenti informatici che facilitano al massimo la sua gestione, ad esempio, avvertendo l'utente quando l'associazione di una specie animale a un codice botanico implica un'area molto grande, cioè maggiore di soglie prefissate sia per quanto riguarda l'area sia per la lunghezza della regione associata.

In pratica il sistema proposto prevede la possibilità di individuare classi omogenee di correlazione flora/fauna che permetterà di visualizzare tali aree al fine di individuare analoghe condizioni ambientali. Tale punto ha un grado di approfondimento simile a quello già indicato per flora e fauna in quanto si tratta esclusivamente di un'ulteriore analisi e riclassificazione dei dati precedentemente elaborati.

### **Metodologie di produzione di report e indicatori**

Il *database* geografico progettato sulla base del processo metodologico e del processo di normalizzazione scientifica consente di diffondere le informazioni di carattere geosinfitosociologico e faunistico tramite presentazioni geografiche o cartografie, report ed elaborazione di indicatori.

Le mappe o cartografie risultano estremamente importanti in quanto integrano dati di diversa fonte e provenienza in un sistema di riferimento geografico o cartografico comune, ciò permette di combinare, sovrapporre ed analizzare i dati per comprendere fenomeni di tipo spaziale e modellare eventi futuri.

Le mappe e i report realizzabili tramite il *geodatabase* presentato sono innumerevoli.

Le cartografie che saranno realizzate sono le carte della vegetazione (fitosociologiche), le carte del paesaggio vegetale (geosinfitosociologiche), le carte degli habitat (direttiva 92/43/CEE) ecc.

Nella realizzazione di report, mappe e nell'elaborazione di indicatori gli esperti giocano ruoli di primaria importanza, a partire da:

- l'utente finale (*map user*) il quale osserva ed utilizza le mappe per generali o specifici obiettivi e che comunque deve essere qualificato in rapporto al tipo di tematismo presentato;
- il realizzatore di mappe (*map builder* e *map publisher*) il quale a partire dalla banca dati realizza mappe per specifici obiettivi e si dedica alla qualità estetica delle stesse per renderne facile la sintesi e più efficace la comprensione e la diffusione. Tale esperto deve conoscere la struttura della banca dati ed il valore semantico delle informazioni presenti e quindi essere capace di tradurre gli scopi finali da tematizzare, in stringhe SQL e procedure programmatiche (codici di programmazione e *ArcObjects ESRI*, Zeiler, 1999). Infatti, le cartografie (fitosociologiche, geosinfitosociologiche, habitat, faunistiche etc.) presentano un elevato dettaglio e complesso contenuto semantico e le informazioni derivano dall'interrogazione di molteplici classi di analisi;
- gli specialisti di tematiche ecologico-ambientali, in questo caso il fitosociologo, il geosinfitosociologo ed il faunista, che decidono gli obiettivi e i temi da presentare in sinergia al *mapbuilder* e massimizzano la funzionalità, la capacità di sintesi e rappresentazione dello specifico tema nella cartografia.

Le cartografie realizzate saranno di elevata qualità globale, secondo i parametri che definiscono la qualità oggettiva di una cartografia numerica (Galletto et al., 1993), in quanto esaustive, attuali, metricamente precise e tollerabili, di elevata risoluzione (coerente con la scala nominale 1:10.000), con elevata precisione semantica e coerenza o congruenza logica tra quanto rappresentato in cartografia e la realtà.

La banca dati permette sempre utilizzando tecniche di consultazione legata alla conoscenza del linguaggio SQL di soddisfare la reportistica necessaria e la parte SQL nativa del *geodatabase*.

### **Conclusioni**

In questo articolo è stato presentato un ambiente di consultazione e gestione dei dati faunistici e botanici della Regione Marche che permette sia la fruizione che la proposta di modifica di dati sia cartografici vettoriali, che alfanumerici.

La sua caratteristica fondamentale è la flessibilità e interoperabilità, ossia la possibilità di essere aggiornata nel tempo in relazione alla disponibilità di nuove fonti di dati ambientali, faunistici o socio-economici e la possibilità di calibrare le analisi a qualsiasi livello di dettaglio geografico e quantitativo desiderato, da quello regionale a quello provinciale. A tal fine sono diversi i livelli di analisi che vanno da query spaziali predefinite a un query builder ibrido (spaziale e quantitativo su campi dei database di appoggio), sino all'uso di WMS analizzabili attraverso GIS leggeri.

Il progetto sarà pubblicato on line a fine 2012 e sarà consultabile del sito web della Regione Marche accedendo alla sezione "PF Tutela degli animali e rete ecologica regionale".

### **Ringraziamenti**

Si ringrazia la PF Tutela degli animali e rete ecologica regionale della Regione Marche per la collaborazione nell'ambito del progetto SIT-REM.

### **Bibliografia**

Baldoni, M., Biondi, E., Ferrante, L., 2004. Demographic and spatial analysis of a population of *Juniperus oxycedrus* L. in an abandoned grassland. *Plant Biosystems*, 138 (2), 89-100.

Biondi E. & Colosi L., 2005. Environmental quality: An assessment based on the characters of plant landscape. *Plant Biosystems* 139(2): 145-154.

Biondi, E. & Calandra, R. (1998) La cartographie phytoécologique du paysage. *Écologie*, 29 (1-2), 145-148.

Biondi, E. (1996) La geobotanica nello studio ecologico del paesaggio. *Ann. Acc. Ital. Sc. Forest.* 45, 3-39.

Galetto et al., 1993 La cartografia numerica: il problema degli standard. *Bollettino dell'AIC* 87-88: 175-184.

Morelli F., Pandolfi M., Pesaresi S. & Biondi E., 2007. Uso di dati di monitoraggio e variabili degli habitat per la costruzione di modelli di distribuzione delle specie di uccelli nella regione Marche, Italia. *Fitosociologia* 44(2) Suppl. 1: 127-132.

Pandolfi M., Biondi E., Catorci A., Morelli F. & Zabaglia C., 2007. Modello per l'integrazione tra le esigenze dell'habitat di specie animali minacciate e la struttura fisionomicovegetazionale del territorio: l'applicazione nella costruzione della Rete Ecologica delle Marche. *Fitosociologia* 44 (2) Suppl. 1: 119-125.

Pesaresi S., Biondi E., Casavecchia S., Catorci A. & Foglia M., 2007. Il Geodatabase del Sistema Informativo Vegetazionale delle Marche. *Fitosociologia* 44 (2) Suppl.1: 95-101.

Zeiler, 1999. Modeling our World. The ESRI guide to Geodatabase Design. ESRI Press, Redlands, California: 2-195

Zuccarello, V., Allegrezza, M., Biondi, E. & Calandra, R. (1999) Valenza ecologica di specie e di associazioni prative e modelli di distribuzione lungo gradienti sulla base della teoria degli insiemi sfocati (Fuzzy Set Theory). *Braun-Blanquetia*, 16, 121-225.

## **Accuratezza nell'interpolazione dei DTM: analisi dei fattori determinati.**

Gabriele Garnero, Danilo Godone

Università di Torino, DEIAFA Sez. Topografia Via L. Da Vinci 44, 10095 Grugliasco (TO)  
gabriele.garnero@unito.it, danilo.godone@unito.it

### **Riassunto**

I modelli digitali del terreno sono strumenti primari di analisi e gestione del territorio per il fatto di poter essere direttamente impiegabili nei sistemi GIS e in varie applicazioni specialistiche, quali le modellizzazioni idrauliche, le analisi geotecniche, le progettazioni stradali, lo studio delle localizzazioni per gli impianti di telecomunicazione, ecc..

Sono disponibili specifiche tecniche ormai consolidate finalizzate all'acquisizione dati per la generazione di TIN a partire dalle varie tecniche di misura, mentre non sono ancora definite le più idonee modalità di interpolazione per passare dal modello a facce triangolari al grigliato regolare (DTM). In altri termini, non è disponibile una metodologia condivisa, che possa essere suggerita e applicata all'interno delle produzioni cartografiche per la generazione dei modelli numerici.

Nel presente lavoro verranno presi in considerazione vari algoritmi di calcolo, analizzando differenti tecniche di interpolazione (deterministiche e geostatistiche) per l'individuazione di una metodologia ottimale di stima, le interpolazioni verranno applicate ad una nuvola di punti ottenuta da Laser Scanner elitrasmportato.

Nel caso specifico si procederà anche all'analisi, tramite tecniche statistiche di classificazione, all'individuazione delle criticità dei dati di input che maggiormente influiscono, nella fase di interpolazione, alla riduzione della qualità del risultato finale.

### **Abstract**

*Digital terrain models are key tools in land analysis and management as they are directly employable in GIS systems and other specific applications like hydraulic modelling, geotechnical analyses, road planning, telecommunication...*

*TIN generation, from different kind of measurement techniques data, is already ruled by specific regulations while interpolation techniques, to compute a regular grid from a TIN, are still lacking. A shared methodology has not already been developed in order to be used in cartographic production while generating digital models.*

*In the present study different algorithms (stochastic and geostatistic) will be analysed in order to spot an optimal interpolation methodology. Computations will be carried out on a point cloud obtained by helicopter-borne Laser Scanner.*

*Moreover, a statistic analysis will be carried out, by classification techniques, with the purpose of highlighting critical input data that influences, in the interpolation phase, the quality reduction of the final output.*

### **Introduzione**

La produzione di un modello digitale, sia derivato da una ripresa LiDAR sia ottenuto attraverso una produzione basata su collimazioni fotogrammetriche, oggi in massima parte ottenute con tecniche di autocollimazione, ha come fase critica la produzione del grigliato attraverso tecniche di interpolazione che, com'è esperienza di tutti gli operatori, producono risultati anche notevolmente

differenti e quindi, in diversa misura, vanno a compromettere, per l'utilizzatore finale, la qualità dell'elaborato dal punto di vista metrico.

Vari documenti sono oggi disponibili, per la comunità scientifica e per il mondo degli operatori, per definire le modalità per la produzione dei dati per i modelli digitali, a partire dalle caratteristiche delle riprese aeree alle quote di volo ed alle precisioni richieste per i sensori: negli ultimi anni, vengono adottate in modo relativamente generalizzato le specifiche approvate in ambito CNIPA e finalizzate alla produzione dei DTM e delle ortoimmagini.

Né queste né altre specifiche prevedono invece indicazioni per quanto concerne la metodologia ottimale da utilizzarsi per il passaggio dai dati di misura ai dati della griglia, definendo le procedure ed i parametri per l'interpolazione mediante i quali produrre il modello digitale, fissando o per lo meno consigliando fasi operative che sono ancora lasciate alla totale autonomia dei singoli operatori.

In sostanza si tratta di rispondere ai seguenti quesiti:

- qual è la metodologia di interpolazione ottimale, al fine di produrre un grid che rispetti al meglio i dati disponibili, e possa quindi essere utilizzato in sostituzione dei dati rilevati garantendo l'utilizzatore che il prodotto rappresenta al meglio la qualità che è stata raggiunta con i sofisticati mezzi di rilievo oggi disponibili? Ovvero, in altri termini, qual è il metodo di interpolazione che consente di conservare l'elevata qualità delle informazioni acquisite in fase di misura?
- quali sono i parametri fisici e geometrici che possono influire sulla qualità degli elaborati finali?

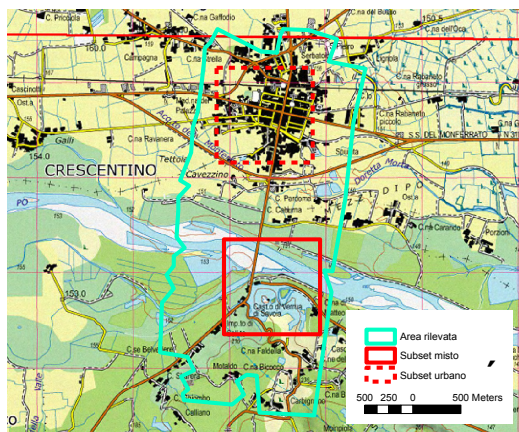


Figura1 – Zona di studio e subsets.

## Materiali e metodi

Per la realizzazione dello studio in oggetto è stata utilizzata una ripresa LiDAR nelle disponibilità nel nostro Dipartimento, realizzato all'interno di uno studio sperimentale realizzato qualche anno addietro: la zona di studio è collocata sul tratto di confluenza tra il Po e la Dora Riparia, in prossimità dell'abitato di Crescentino (TO). Il volo, con decollo dall'aeroporto di Casale Monferrato, è stato eseguito in data 21/2/2001 (Figura 1), impiegando uno strumento Saab TopEye. L'orientamento ed il posizionamento del velivolo sono stati determinati tramite l'impiego di una piattaforma inerziale Honeywell H764 a 50 Hz e di antenne GPS montate a bordo, con l'uso di un ricevitore GPS a doppia frequenza - Trimble 4000 Ssi – come stazione di riferimento a terra, posizionato su vertici di coordinate note.



Il sensore è costruito dalla British Aerospace Australia: modello Eagle 2 con una lunghezza d'onda  $\lambda = 1063,6 - 1064,5 \text{ nm}$ , il laser emesso ha una frequenza di 7 KHz operante in una Classe 3B secondo gli standard Europei EN 60 825.

Gli algoritmi di interpolazione impiegati per la valutazione dell'accuratezza di stima sono i seguenti, suddivisi nei due principali gruppi di classificazione:

1. Algoritmi di interpolazione con metodi stocastici:
  - a. IDW (Tomeczak, 2003);
  - b. Spline (Johnston et al, 2001),
  - c. Natural Neighbors (Watson, 1999);
2. Algoritmi geostatistici:
  - a. Kriging (Matheron, 1970).

### Elaborazioni

Le operazioni di interpolazione e di validazione sono state effettuate in ambiente ArcGis, con l'ausilio dell'estensions "Geostatistical Analyst" e "3D Analyst"; le successive fasi di calcolo sono si sono svolte in ambiente Excel.

Data la mole di dati a disposizione, si è proceduto ad individuare due zone test di superficie pari a 1 Km<sup>2</sup> dove condurre le sperimentazioni. Una zona, denominata "subset urbano" (1015170 punti), è stata collocata sull'abitato di Crescentino per valutare l'interpolazione di un modello digitale in un territorio altamente antropizzato caratterizzato da una morfologia semplice, ma con la presenza di edifici ed altri ostacoli.

La seconda area ("subset misto"- 1233304 punti) è invece stata posizionata in prossimità della collina di Verrua Savoia e dell'alveo del fiume Po, con l'obiettivo di studiare gli effetti di una morfologia più complessa e varia sulla procedura di generazione del modello.

Il dataset iniziale è stato suddiviso in due insiemi indipendenti con lo scopo di effettuare sia l'interpolazione che la validazione del risultato. Il tool "Create subsets..." ha infatti permesso di creare un set di training (97% dei dati) da impiegare come input nelle fasi di interpolazione e un test set indipendente (3% dei dati) per la validazione. Il dataset originale è stato così suddiviso per non impoverire l'insieme di dati destinato all'interpolazione e non compromettere l'integrità del dato originale (Bater Coops, 2009).

Le singole interpolazioni sono state effettuate impiegando, quando richiesti, i parametri calcolati ai minimi quadrati dal sistema, in modo da non introdurre variazioni dovute all'intervento dell'operatore. I raster sono stati elaborati con una risoluzione pari a 1 metro.

Al termine della procedura di interpolazione, il software ha estratto nella posizione dei punti impiegati come set di validazione il valore interpolato confrontandolo con quello associato al punto, compilando una tabella di scarti. Tale dato, importato su un foglio di lavoro, ha permesso di calcolare le statistiche descrittive dei valori di scarto e dei moduli.

Al fine di determinare l'influenza di parametri morfologici e caratteristici della misura laser sull'errore di interpolazione è stata condotta un'ulteriore serie di analisi: la procedura impiegata è il CART (Classification Analysis and Regression Tree) e consiste nell'analizzare l'andamento di una variabile dipendente in funzione di altre variabili indipendenti (Breiman et al, 1984).

Il CART è un metodo robusto che non richiede assunzioni particolari quali la normalità della distribuzione dei dati o altro; è inoltre in grado di processare variabili categoriche e continue anche in un'unica analisi.

L'output della procedura è un diagramma ad albero che suddivide il dataset iterativamente in subsets di crescente omogeneità (Urban, 2002): l'algoritmo individua nelle singole variabili un valore, detto "di *split*", che permette la suddivisione in due sottogruppi adeguatamente significativi; viene così a crearsi il diagramma precedentemente illustrato, dove ogni ramificazione è associata ad una variabile indipendente e ad un determinato valore soglia.

Al fine di non suddividere eccessivamente il diagramma in ramificazioni di scarsa significatività, è possibile definire una soglia (*tree pruning*) al di sotto della quale l'algoritmo non suddivide ulteriormente una ramificazione (Kittler and Devijver, 1982).

Nel presente studio gli scarti ottenuti dal dataset di validazione, che ha fornito il risultato migliore, sono stati impiegati come variabile dipendente e testati con le seguenti variabili indipendenti (la denominazione delle variabili tra parentesi quadre è quella utilizzata nel modello):

1. Intensità dell'impulso laser di ritorno [INTENSITY];
2. Densità di impulsi per metro quadrato [DENSITY];
3. Pendenza [SLOPE];
4. Curvatura [CURV];
5. Discontinuità morfologica (espressa come deviazione standard della quota calcolata con una finestra mobile 3x3) [ST\_DEV].

Il risultato atteso è la suddivisione del dataset in sottogruppi omogenei di crescente qualità nell'accuratezza di stima e la conseguente individuazione dei valori soglia delle variabili indipendenti che determinano tali classificazioni.

Le variabili indipendenti, ad eccezione dell'intensità (già associata ad ogni punto), sono state elaborate dal dataset iniziale generando dei raster dai quali è stato estratto il valore da associare ai singoli punti del subset di validazione. Le elaborazioni sono state compiute in ambiente ArcGis con l'ausilio delle extensions "Spatial Analyst" e "3D Analyst". Le operazioni di analisi delle variabili sono state effettuate su SPSS.

#### Misto

|       | IDW          | K       | SPLINE  | NN      |
|-------|--------------|---------|---------|---------|
| MEDIA | 0.041        | 0.011   | 0.011   | 0.017   |
| RMS   | <b>2.360</b> | 2.625   | 2.625   | 2.611   |
| MIN   | -64.772      | -64.771 | -64.771 | -23.030 |
| MAX   | 21.931       | 22.003  | 21.988  | 64.763  |

|       | IDW          | K      | SPLINE | NN     |
|-------|--------------|--------|--------|--------|
| MEDIA | 1.003        | 1.024  | 1.024  | 1.005  |
| RMS   | <b>2.137</b> | 2.417  | 2.417  | 2.410  |
| MIN   | -            | -      | -      | -      |
| MAX   | 64.772       | 64.771 | 64.771 | 64.763 |

#### Urbano

|       | IDW          | K       | SPLINE  | NN      |
|-------|--------------|---------|---------|---------|
| MEDIA | 0.017        | -0.015  | 0.004   | 0.027   |
| RMS   | <b>1.669</b> | 1.852   | 1.701   | 2.002   |
| MIN   | -20.604      | -19.990 | -23.861 | -24.442 |
| MAX   | 37.480       | 21.170  | 35.899  | 24.818  |

|       | IDW          | K      | SPLINE | NN     |
|-------|--------------|--------|--------|--------|
| MEDIA | 0.754        | 1.004  | 0.619  | 0.753  |
| RMS   | <b>1.489</b> | 1.556  | 1.585  | 1.854  |
| MIN   | -            | -      | -      | -      |
| MAX   | 37.480       | 21.170 | 35.899 | 24.818 |

Tabella 1 – Statistiche descrittive degli scarti ottenuti dai dataset di validazione e dei relativi moduli.

## Risultati e discussione

L'analisi degli scarti sulle due aree sperimentali ha consentito di calcolare le statistiche descrittive dei valori ottenuti e dei moduli. tutti gli algoritmi hanno fornito risultati interessanti, ma il migliore è quello ottenuto, in entrambi le aree, dall'impiego dell>IDW (Tabella 1).

Data l'alta densità dei punti, l'elevata qualità nei risultati dei differenti algoritmi era comunque attesa: i valori riscontrati sono molto simili e risulta difficile stilare una classificazione gerarchica degli stimatori in seguito all'individuazione del risultato ottimale. La differenza riscontrata tra i valori di RMS dei due subset è invece imputabile alla complessità e varietà morfologica del subset "misto".

L'analisi con il metodo CART è stata effettuata su entrambi i subsets impiegando come variabile dipendente gli scarti dell>IDW, in entrambi i casi è stato prodotto un diagramma ad albero che raggruppa i valori degli scarti in gruppi, in funzione delle variabili illustrate in precedenza (Figura 2).

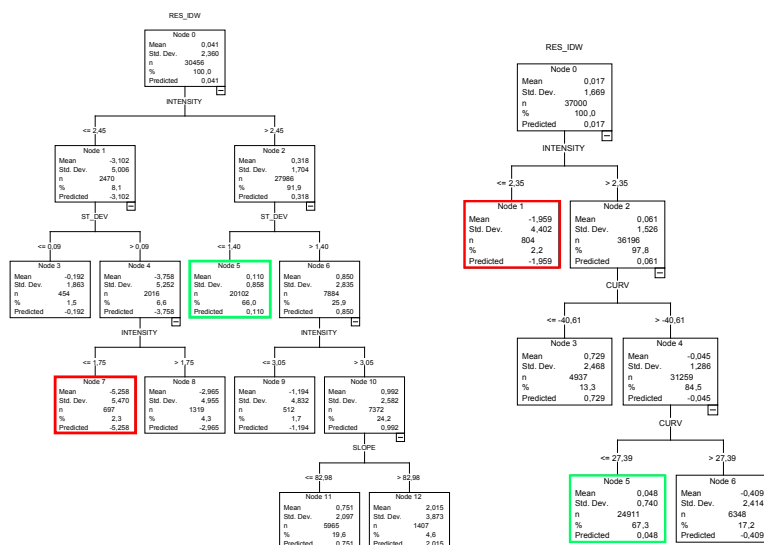


Figura 2 – Diagrammi CART dell’analisi degli scarti ottenuti dall’interpolatore IDW su “Subset Misto” (sinistra) e “Subset Urbano” (destra).

In entrambi i diagrammi è possibile notare le variabili e relative soglie che suddividono il dataset: dopo ogni suddivisione è presente un box che riassume le caratteristiche del sottogruppo e nel caso specifico identifica un incremento o decremento dell’accuratezza di stima. I valori di media e deviazione standard dei sottogruppi consentono di stabilire le porzioni di dataset affetto da errori di stima molto elevati o molto ridotti e l’analisi delle ramificazioni del diagramma ad albero consente di individuare quelle variabili che maggiormente hanno influito, e con quale valore limite, alla determinazione di quel particolare sottogruppo.

Nella Figura 3 è illustrata l’importanza delle variabili indipendenti derivata dal diagramma del CART: in entrambi i casi si nota una marcata influenza dell’intensità dell’impulso; nel subset urbano è inoltre altamente influente la variabile rappresentata dalla curvatura. Le altre variabili sono invece caratterizzate da un ridotto contributo alla determinazione del diagramma.

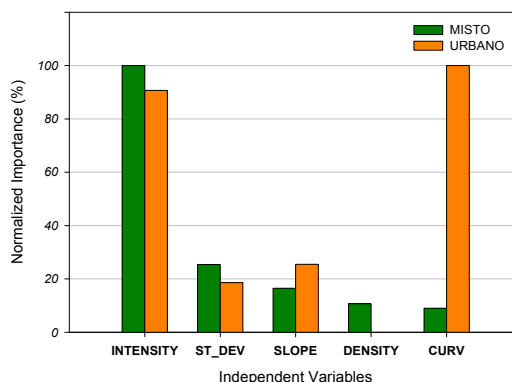


Figura 3 – Importanza delle variabili indipendenti nella classificazione.

Il diagramma consente inoltre di estrarre da ogni gruppo la sintassi SQL per effettuare queries in ambiente GIS e determinare l'estensione e collocazione delle differenti zone: di seguito è riportata a titolo di esempio la sintassi del nodo n° 5 del diagramma del subset "misto".

```
(( (NOT (INTENSITY = -9999)) AND (INTENSITY > 2,45)) OR ((INTENSITY IS NULL) OR (INTENSITY = -9999))) AND (((NOT (ST_DEV = -9999)) AND (ST_DEV <= 1,40324122)) OR ((ST_DEV IS NULL) OR (ST_DEV = -9999)))
```

Dall'analisi dei due diagrammi si possono quindi evidenziare i valori di soglia che hanno portato alla definizione dei gruppi caratterizzata da scarti più ridotti ed elevati (Tabella 2).

In entrambi i subset gli errori di stima più bassi si sono verificati dove l'intensità (INTENSITY) dell'impulso laser era più elevata e dove la complessità morfologica era più ridotta. Nel subset misto tale condizione è rappresentata da ridotti valori del parametro ST\_DEV che significano discontinuità morfologiche di minore entità; nel subset urbano invece si osserva una maggiore importanza nel parametro CURV che rappresenta, tramite la derivata seconda dei valori di quota, l'andamento concavo, convesso o piano del terreno (Zeverbergen et al, 1987; Moore et al, 1991); nel caso specifico le condizioni favorevoli si verificano nelle porzioni caratterizzate da andamento pianeggiante. Al contrario nei sottogruppi caratterizzati da valori di scarto più elevati si riscontra un ridotto valore di intensità (INTENSITY) e, nel caso del subset misto, di una maggiore presenza di discontinuità morfologiche (parametro ST\_DEV), come nell'area collinare o nelle sponde del fiume Po.

| Misto                                                        |                                                                                  | Urbano                                                                       |                                             |
|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Ridotto errore di stima<br>INTENSITY > 2.45<br>ST_DEV ≤ 1.40 | Elevato errore di stima<br>INTENSITY ≤ 2.45<br>ST_DEV > 0.09<br>INTENSITY ≤ 1.75 | Ridotto errore di stima<br>INTENSITY > 2.35<br>CURV > -40.61<br>CURV ≤ 27.39 | Elevato errore di stima<br>INTENSITY ≤ 2.35 |

*Tabella 2 – Valori di soglia desunti dai differenti nodi dei diagrammi CART.*

L'analisi CART ha evidenziato una serie di parametri e relative soglie significative nel determinare la qualità dell'interpolazione e per fornire elementi utili alla progettazione di nuove campagne. Il valore di curvatura (CURV) ha evidenziato che l'interpolatore ha minori difficoltà di calcolo nel ricostruire forme pianeggianti; risultato confermato dall'indice di complessità morfologica (ST\_DEV) che associa ridotto un errore di stima a porzioni territoriali piane o comunque non caratterizzate da morfologie complesse. Parametri quali l'intensità del segnale di ritorno (INTENSITY) invece, possono essere impiegati nella pianificazione di successive campagne di rilevamento; in particolare, nella scelta del sensore da impiegare: al variare dello strumento, e conseguentemente della lunghezza d'onda dell'impulso, varia l'intensità del segnale di ritorno. Obiettivo futuro del presente lavoro è la ripetizione dell'analisi CART su raster a differenti risoluzioni, interpolati dal medesimo dataset, per verificare, ulteriormente, l'attendibilità dei risultati ottenuti.

## Conclusioni

L'impiego del CART consente quindi di effettuare un'analisi approfondita sui risultati di una procedura di interpolazione: il metodo va oltre la semplice valutazione degli scarti ottenuti da un dataset di validazione e permette di individuare, attraverso lo studio di variabili coinvolte direttamente o indirettamente nel processo di elaborazione, fattori predisponenti un degrado di qualità dell'elaborato finale.

## Bibliografia

Bater C. W., Coops N. C., 2009. Evaluating error associated with Lidar derived DEM interpolation. *Computer & Geosciences* 35, pp. 289 – 300.

- Tomeczak M., 2003. Spatial Interpolation and its Uncertainty using Automated Anisotropic Inverse Distance Weighing (IDW) – Cross-validation/Jackknife Approach in *Mapping radioactivity in environment, Spatial Interpolation Comparison* eds. G. Dubois, J. Malczewski, M. de Court, European Commission – Joint Research Centre, pp. 51-62-
- Urban D. L., 2002. Classification and Regression Trees in McCune B., Grace J. B., *Analysis of Ecological Communities*, MjM Software Design Gleneden Beach, Oregon USA, ISBN 0-9721290-0-6, pp. 222 – 232.
- Johnston K., Ver Hoef J., Krivoruchko K., Neil L., 2001. *Using ArcGIS™ Geostatistical Analyst*, ESRI™, USA
- Watson D., 1999. The natural neighbor series manuals and source codes, *Computers & Geosciences*, Elsevier, pp. 463-466.
- Moore, I.D., R. B. Grayson, and A. R. Landson., 1991. Digital Terrain Modelling: A Review of Hydrological, Geomorphological, and Biological Applications. *Hydrological Processes* 5, pp. 3–30.
- Zeveloff, L. W., and C. R. Thorne., 1987. Quantitative Analysis of Land Surface Topography. *Earth Surface Processes and Landforms* 12, pp. 47 - 56.
- Breiman, L., J. H. Friedman, R. A. Olshen, and C. J. Stone., 1984. *Classification and Regression Trees*. New York: Chapman & Hall/CRC.
- J. Kittler and P.A. Devijver, 1982. Statistical Properties of Error Estimators in Performance Assessment of Recognition Systems. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 4(2), pp. 215 - 220.
- Matheron, G., 1970. The Theory of Regionalized Variables and its Applications, *Les Cahiers du Centre de Morphologie mathématique*, Fascicule V, Ecole des Mines de Paris:211





## **La fotogrammetria d'archivio per lo studio della frana di Scascoli (Bologna)**

Giorgia Gatta, Alberto Landuzzi, Antonio Zanutta

DICAM - Università di Bologna, viale Risorgimento 2, 40136 Bologna  
(giorgia.gatta; alberto.landuzzi; antonio.zanutta)@unibo.it

### **Riassunto**

I fotogrammi aerei storici rappresentano una risorsa preziosa al fine di studi multitemporali sul territorio, a supporto di indagini storiche sull'evoluzione di specifici fenomeni ambientali e del confronto con situazioni riferite a periodi storici differenti. A partire dalle informazioni del passato impresse su tali supporti la fotogrammetria digitale, in questo caso "d'archivio", risulta una tecnica molto potente, in quanto permette la ricostruzione di modelli tridimensionali del terreno riferiti a determinati periodi storici.

Il presente studio mostra l'applicazione della tecnica fotogrammetrica d'archivio all'area di Scascoli (frazione di Loiano, provincia di Bologna) e di parte della valle del torrente Savena. L'area di studio risulta di notevole interesse, in quanto è stata soggetta più volte a fenomeni di instabilità, legati più o meno direttamente alla presenza di una grande frana quiescente nel fianco destro della valle.

Allo scopo si sono utilizzati fotogrammi aerei del 1976 in forma di positivi, convertiti in forma digitale mediante scanner metrico. L'orientamento dei fotogrammi è stato ottenuto mediante una procedura iterativa di triangolazione, che si è avvalsa di punti fotogrammetrici di appoggio appositamente rilevati nel 2007. La creazione di un modello digitale del terreno nell'area di interesse e la generazione di prodotti vettoriali (restituzione sul modello stereoscopico) e raster (ortofoto) hanno permesso di analizzare la situazione dell'area com'era nel 1976; in particolare, la creazione del profilo altimetrico del torrente Savena, in corrispondenza del piede della grande frana quiescente, ha permesso di valutare lo stato di avanzamento dell'erosione torrentizia dal momento in cui la stessa frana ha sbarrato il fondovalle. La configurazione plano-altimetrica dell'alveo del Savena, fortemente alterata dalla messa in posto del corpo di frana, non è ancora ritornata alle condizioni di equilibrio in cui si trovava prima di tale evento.

### **Abstract**

*Historical air photos are valuable tools for the multi-temporal analysis of landforms. They support investigations on the historical evolution of single environmental phenomena, as well as comparisons between similar phenomena in different historical periods. Powerful techniques of digital "archive photogrammetry" have been developed, in order to reconstruct 3D ground surface models related to different historical periods.*

*This paper describes an application of archive photogrammetry to the geomorphology of the Savena Valley in the surroundings of Scascoli (Loiano, Bologna, Italy). The study area is peculiarly interesting for the manifold occurrence of slope instability phenomena, more or less directly related to a large dormant landslide in the SE valley side.*

*For this purpose, four 1976 positive air photographs, converted into a digital form by means of a metric scanner, have been used. An iterative triangulation procedure was made using ground control points surveyed in 2007. The elaboration of a digital terrain model of the study area, with the generation of vector and raster products, allowed us to analyse the Scascoli landscape as it was in*

*1976. Particular attention was paid to the restitution of the altitude profile of the Savena stream, partly corresponding to the toe of the large dormant landslide. Several knickpoints in this profile display the progress of stream erosion from the time when that landslide dammed the valley floor. The plan-altitude configuration of the Savena riverbed has been deeply altered by the emplacement of the large landslide, and has not yet come back to its primitive balance between erosion and sedimentation.*

## **Introduzione**

Applicazioni legate all'analisi di fenomeni ambientali che si evolvono nel lungo periodo necessitano spesso di dati metrici storici. Inoltre, per comprendere appieno tali fenomeni, occorre che i dati storici siano distribuiti in un range temporale sufficientemente ampio (da qualche anno a qualche decade).

Per quanto riguarda l'analisi dell'ultimo secolo, questa informazione può derivare dal grande patrimonio aereofotogrammetrico storico di cui oggi si dispone, a partire dalle prime riprese aeree degli anni Trenta del XX secolo (Bitelli et al., 2006). Sfruttando le potenzialità della tecnica fotogrammetrica, in questo caso detta "d'archivio", i fotogrammi aerei storici permettono di valutare i fenomeni non solo dal punto di vista qualitativo, ma anche dal punto di vista quantitativo (Chandler et al., 2002). Ciò significa la possibilità di estrarre informazioni di tipo metrico dai fotogrammi storici e quindi la possibilità di confrontare, in un'ottica multitemporale, differenti situazioni storiche relative al fenomeno in esame.

In campo ambientale, la Fotogrammetria d'Archivio trova applicazione nello studio delle dinamiche territoriali del paesaggio in generale, nel controllo di movimenti di ghiacciai e nell'analisi multitemporale di corpi franosi (Zanutta et al., 2006). Il presente studio vuole costituire un esempio di come con la tecnica fotogrammetrica d'archivio sia possibile estrarre informazioni metriche d'interesse per l'analisi storica di un corpo franoso; nel caso specifico la frana risulta di notevole interesse non solo per il tipo di fenomeno, ma anche per le condizioni in cui esso s'inserisce nel contesto ambientale della zona.

## **Inquadramento geologico dell'area di studio**

L'area oggetto del presente lavoro è centrata sulla grande frana quiescente che caratterizza il versante SE delle Gole di Scascoli, situate nel comune di Loiano (fig. 1). Si tratta di una frana per scioglimento rototraslativo multiplo, che ha coinvolto circa 20 Mmc di roccia in uno spostamento complessivo variabile tra 200 m e 400 m (Landuzzi & Bernagozzi, 1996). L'età della frana non è nota, anche se può essere stimata in un migliaio di anni. Le unità stratigrafiche interessate dal movimento franoso sono la parte superiore della Formazione di Contignaco, il Gruppo di Bismantova e la parte inferiore della Formazione di Monterumici (fig. 2). I principali fattori geologici responsabili della frana sono: i) la presenza di livelli argillosi particolarmente deboli nella Formazione di Contignaco; ii) la giacitura della stratificazione, a franapoggio meno inclinato del pendio; iii) la presenza di faglie subverticali in corrispondenza degli attuali fianchi del corpo di frana. Le cause preparatorie e scatenanti della frana non sono note. Il movimento franoso ha avuto una velocità di picco sufficientemente elevata da ostruire il fondovalle del T. Savena, formando un vasto lago di sbarramento e spostando l'alveo del torrente verso NW, a ridosso delle incombenenti pareti arenacee del Gruppo di Bismantova. Dopo questo evento catastrofico il T. Savena ha profondamente inciso il cumulo di materiali che lo sbarrava, nel tentativo di ripristinare il proprio profilo d'equilibrio. Quest'attività erosiva ha tuttavia reso molto precaria la stabilità del piede di frana, dal quale si sono distaccate numerose frane minori, classificabili come colate e scorrimenti di detrito. Inoltre, grazie alla nuova posizione assunta dall'alveo, l'erosione del T. Savena ha potuto scalzare al piede le pareti arenacee del versante NW, predisponendo gli imponenti crolli di roccia che si sono verificati nel 1992, nel 2002 e nel 2005 (fig. 2). Attualmente, il piede della grande frana si sta muovendo, con una velocità media di 2 cm/a, su una superficie basale di scorrimento che si spinge fino a 5-7 metri sotto il *Thalweg* del T. Savena. (Gottardi et al., 2004). La mutua interazione tra la grande frana di Scascoli e

l'attività erosiva del T. Savena ha determinato due situazioni di grave emergenza e un persistente stato di criticità per il tracciato della Strada Intercomunale di Fondovalle Savena. Per questo motivo, tanto la frana quanto gli ammassi rocciosi prospicienti sono stati e sono tuttora oggetto di monitoraggio con metodi topografici, piezometrici, inclinometrici ed estensimetrici.



*Figura 1 – Inquadramento geografico dell'area della frana di Scascoli in comune di Loiano (BO).*

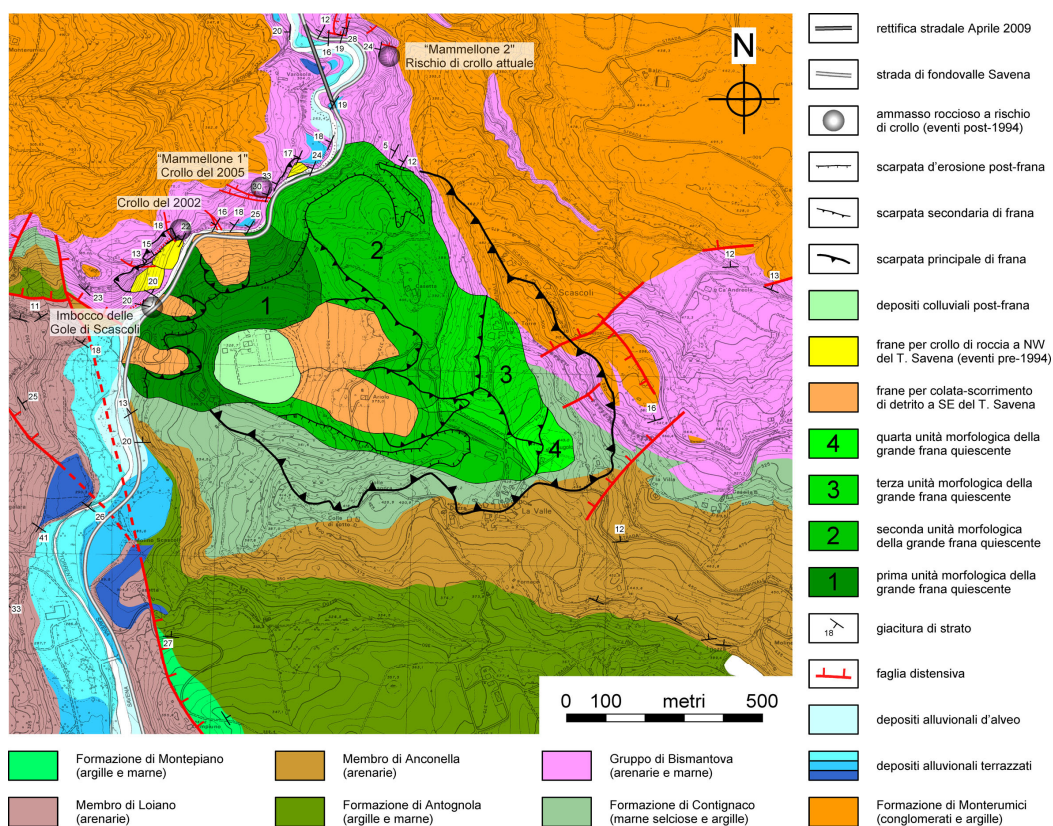


*Figura 2 – Carta geologica dell'area di Scascoli.*

Per lo studio delle dinamiche ambientali della zona di Scascoli, può risultare di notevole interesse un'analisi multitemporale che investa l'ultimo secolo di storia della grande frana quiescente. A tal fine ci si può avvalere dei numerosi voli fotogrammetrici storici disponibili per l'area, che vengono a descrivere periodi diversi della storia della frana. Il presente studio, prendendo in esame un primo volo fotogrammetrico, si pone come inizio di un'analisi multitemporale del fenomeno in oggetto.

### **Materiale a disposizione**

Ai fini del presente studio ci si è avvalsi di un volo fotogrammetrico eseguito sulla regione Emilia-Romagna nel 1976, alla scala di circa 1:15000. Il formato lastra è un classico 23x23 cm, con emulsione colore. La copertura stereoscopica dell'area di studio (la grande frana di Scascoli e l'alveo del T. Savena nel tratto di maggior interesse) è resa possibile da 4 fotogrammi disposti su 2 strisciate (fig. 3). La zona di frana si trova nella parte centrale della copertura stereoscopica.

I fotogrammi, sotto forma di positivi, sono stati convertiti in forma digitale mediante scanner fotogrammetrico di elevata qualità, ad una risoluzione di 2600 dpi ed una profondità colore di 24 bit. In fase di acquisizione, ci si è avvalsi di strumenti di correzione del colore (luminosità, contrasto e gamma sui singoli canali R, G e B), al fine di ottenere immagini con colori qualitativamente buoni e soprattutto omogenei tra i 4 fotogrammi, e di migliorare la visibilità in alcune zone critiche dei fotogrammi (come quelle rappresentate dalle gole di Scascoli) per facilitare la fase finale di restituzione (De Felicibus, 2010).

Le immagini sono state salvate in formato TIFF e successivamente convertite in JPEG2000 *lossless*, per diminuire le loro dimensioni senza pregiudicarne la qualità.

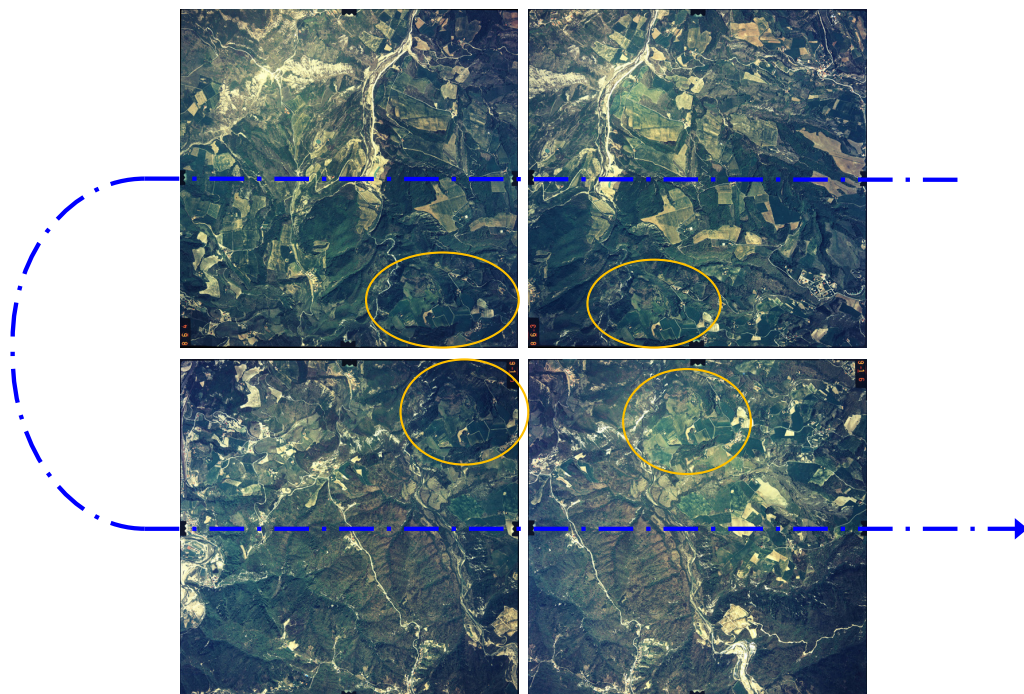


*Figura 3 – I fotogrammi aerei del 1976 per l'area di Scascoli; cerchiata in arancione l'area di frana e delineata in blu la linea di volo.*



### L'elaborazione dei fotogrammi

L'elaborazione dei fotogrammi è stata effettuata all'interno di una stazione fotogrammetrica digitale di fascia alta. La fase di orientamento esterno è avvenuta mediante un processo di Triangolazione Aerea (TA), con una preventiva fase di orientamento interno che si è avvalsa dei dati di calibrazione forniti da specifico certificato.

Nel 2007 è stata effettuata una campagna di misure, allo scopo di rilevare alcuni punti a terra, da utilizzarsi successivamente come Punti Fotogrammetrici di Appoggio (PFA) in fase di triangolazione aerea. La scelta di quali punti rilevare è stata dettata da due esigenze: da una parte quella di disporre di punti invariati dal 1976 ad oggi, e che siano facilmente individuabili e collimabili sui fotogrammi (come spigoli di tetti di case), dall'altra quella di assicurare una distribuzione il più possibile omogenea dei PFA sull'area di ricoprimento stereoscopico dei fotogrammi, compatibilmente con le necessità logistiche, di trasporto della strumentazione e di buona visibilità del segnale GPS. Per ognuna delle 12 aree di stazionamento individuate (fig. 4), il rilievo dei punti (1-5 per ogni area) è avvenuto per polari, utilizzando una *total station* (per la misura di angoli e distanze verso i punti) integrata ad un ricevitore GPS RTK a doppia frequenza (per il calcolo delle coordinate dei punti di stazione, in modalità N-RTK a partire dalle stazioni GPS di riferimento all'interno della rete). Le coordinate dei punti sono state calcolate mediante compensazione ai minimi quadrati nel sistema UTM-WGS84, e successivamente trasformate nel sistema UTM-ED50, per una miglior integrazione con le basi cartografiche moderne di cui si dispone.

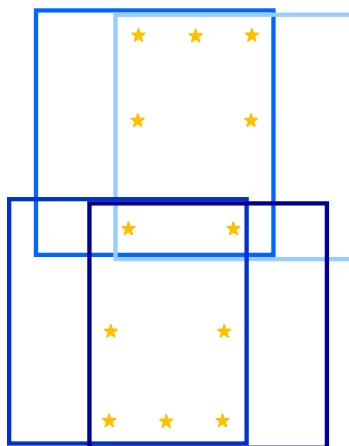


*Figura 4 – Distribuzione dei PFA (in giallo) nella zona di ricoprimento stereoscopico dei fotogrammi (la cui impronta è nei colori del blu, da chiaro a scuro in ordine di acquisizione).*

Al fine di validare i punti di controllo a terra, la procedura di triangolazione adottata è stata di tipo iterativo, inserendo i punti ad uno ad uno nel calcolo di TA. Con questo metodo è possibile evidenziare immediatamente i punti problematici, in quanto caratterizzati da residui alti in uscita dalla fase di TA. Occorre quindi stabilire a priori una tolleranza (in funzione della dimensione del pixel a terra, della precisione associata all'acquisizione delle coordinate dei punti, della tipologia del singolo punto, ecc.), al superamento della quale il punto deve essere considerato "critico". Residui alti possono infatti segnalare:

- incorrettezza di posizionamento del punto sui fotogrammi;
- errore di rilevamento a terra del punto;
- modifica del punto nel corso del tempo.

Nel caso in cui non si possa agire sulla posizione del punto per abbassare il residuo, esso deve essere scartato, per effettuare poi un nuovo calcolo di compensazione.

In questo caso il valore di tolleranza è stato fissato pari al triplo degli errori calcolabili mediante le formule rigorose valide per acquisizione in assetto normale: circa 1,2 m in planimetria e 1,5 m in quota. Alla fine del processo di validazione, è stato dunque possibile disporre di più punti per 12 aree omogeneamente distribuite all'interno della zona di ricoprimento stereoscopico. Per ogni area è stato assunto 1 punto come PFA, 1 punto come controllo a posteriori (*check-point*), per valutare la qualità del calcolo di TA, e i rimanenti come punti di legame (*tie-point*), per irrobustire il modello. In tabella (fig. 5) si riportano i residui sui PFA e sui *check-point* ottenuti in fase di TA, in termini di scarto quadratico medio (RMS, *Root Mean Square*).

|                            |                    | numero | RMS [m] |      |      |        |
|----------------------------|--------------------|--------|---------|------|------|--------|
|                            |                    |        | X       | Y    | Z    | totale |
| <i>control point error</i> | PFA                | 12     | 0,45    | 0,47 | 0,55 | 0,81   |
|                            | <i>tie-point</i>   | 46     |         |      |      |        |
| <i>check point error</i>   | <i>check-point</i> | 11     | 0,54    | 0,70 | 0,65 | 1,10   |

Figura 5 – Scarto quadratico medio sui control point e sui check-point  
(la cui distribuzione sui fotogrammi è mostrata in fig.4).

### Prodotti ottenuti

Dato che l'evoluzione del corpo di frana risulta strettamente legata a quella del torrente Savena, il principale prodotto digitale ottenuto, a partire dal modello stereoscopico derivante dall'orientamento dei fotogrammi, è la restituzione vettoriale del torrente, con attenzione particolare al tratto di maggior interesse, cioè in corrispondenza del piede di frana. Dalla restituzione, eseguita per punti, è stato possibile ottenere il profilo altimetrico del torrente, riportando in grafico la variazione della quota del pelo libero in funzione della distanza planimetrica (fig. 6). Inoltre, sono stati restituiti vettorialmente in stereoscopia alcuni tratti salienti del corpo di frana (coronamento, scarpata principale, testata, piede, fianchi e scarpate minori).

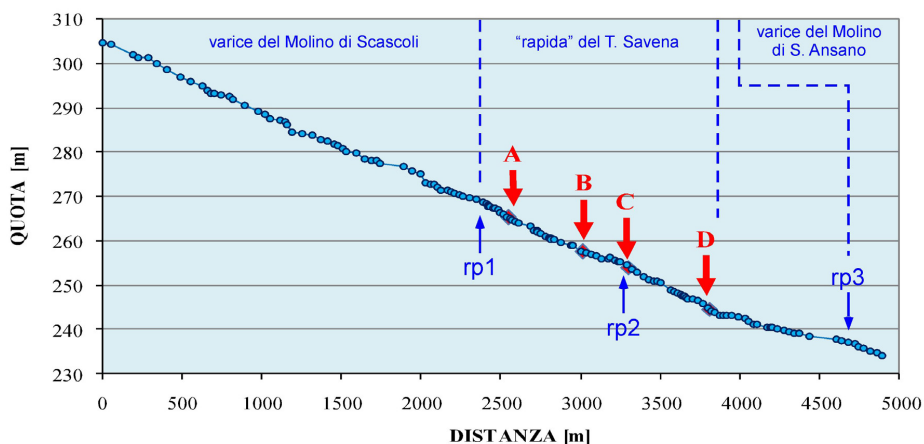


Figura 6 – Profilo altimetrico del torrente Savena;  
sul grafico sono evidenziati: A) imbocco SW delle Gole di Scascoli, B) crolli del 2002, C) Mammellone 1, D) Mammellone 2. Gli stessi siti sono indicati nella carta geologica (fig. 2).



Il profilo altimetrico ha permesso di valutare lo stato di avanzamento dell'erosione operata dal fiume da quando la messa in posto della grande frana di Scascoli ne ha sbarrato il corso. Dal punto di vista dell'evoluzione geologica del corpo di frana, la situazione del torrente nel 1976 coincide praticamente con l'attuale: di conseguenza, l'analisi del profilo altimetrico può fornire indicazioni sul tempo che ancora manca al raggiungimento dell'equilibrio morfodinamico.

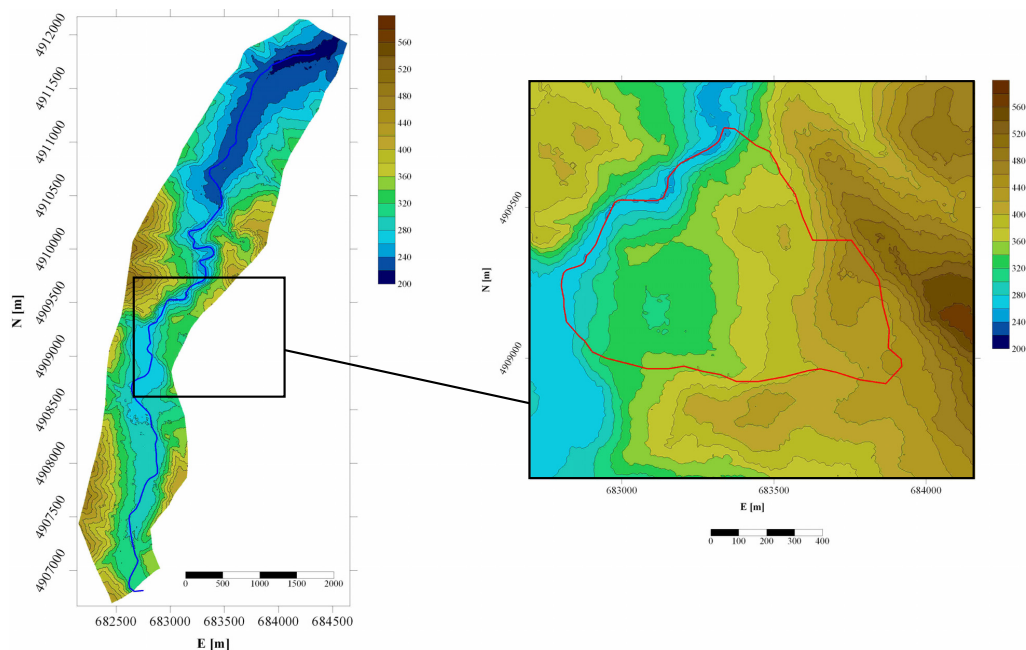


Figura 7 – Carta a curve di livello per l'alveo del torrente Savena e per la frana di Scascoli, con sovrapposte le restituzioni vettoriali dell'alveo (in blu) e del perimetro di frana (in rosso).

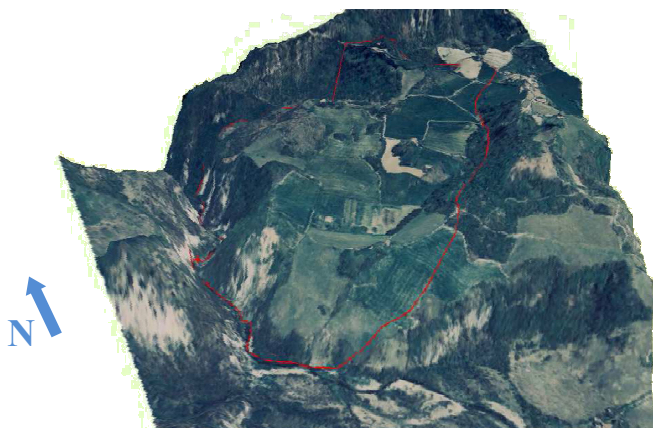


Figura 8 – Vista prospettica del versante di Scascoli nel 1976; il perimetro del corpo di frana quiescente è evidenziato in rosso.

Inoltre, attraverso il modello digitale del terreno che è stato creato, si sono generate le ortofoto sia per l'alveo del Savena, sia per il corpo di frana; esse rappresentano il prodotto cartografico più aderente all'attuale CTR 1:5000, in quanto la CTR è stata elaborata a partire dal volo aerofotogrammetrico del 1976. Infine, altri prodotti digitali correlati, come carte a curve di livello (fig. 7) e viste prospettiche all'interno del modello del 1976 (fig. 8), hanno permesso di simulare la situazione della zona nel 1976, agevolando l'analisi storica dell'area.

### Discussione

In fase di restituzione vettoriale del profilo del torrente Savena sono stati individuati alcuni punti facilmente riconoscibili (imbocco SW delle Gole; crollo del 2002; "Mammellone 1"/crollo del 2005 e "Mammellone 2"/rischio di crollo attuale; fig. 2), che sono stati riportati sul profilo altimetrico ricavato (fig. 6). I punti individuati sono stati utilizzati come riferimento per il riconoscimento sul terreno e la successiva interpretazione delle principali caratteristiche geomorfologiche del profilo del T. Savena.

Il profilo restituito è diverso dalla curva ideale che rappresenta le condizioni di equilibrio morfodinamico di un corso d'acqua. La principale irregolarità si manifesta nelle Gole di Scascoli, dove l'acclività media dell'alveo torrentizio è maggiore di quella che si osserva più a monte, nella varice del Molino di Scascoli (fig. 6). Questa variazione di acclività si spiega principalmente col fatto che le Gole sono intagliate nella F.ne di Pantano (Gr. di Bismantova), assai meno erodibile delle unità adiacenti. Tuttavia, nonostante la sua resistenza, la F.ne di Pantano non affiora quasi mai nell'alveo del torrente, che si presenta ingombro di detriti fin quasi allo sbocco N delle Gole. Quest'anomalia dipende dal fatto che il T. Savena è stato molte volte sbarrato da frane. L'evento più importante si è verificato nell'antichità, con la discesa della grande frana dal versante destro delle Gole, ma numerosi eventi minori si sono susseguiti da quel momento fino a oggi. Per esempio, nel 1971 una frana per scorrimento di detrito si è distaccata dal piede della grande frana, mentre nel 1992, nel 2002 e nel 2005 imponenti ammassi rocciosi sono crollati dal versante sinistro delle Gole. I detriti che attualmente ricoprono l'alveo sono quindi in parte materiali di frana e in parte depositi alluvionali, accumulati a monte degli sbarramenti per frana e/o delle opere realizzate per difendere dall'erosione la Strada Intercomunale di Fondovalle Savena.

Analizzando in dettaglio il tratto di profilo che corrisponde alle Gole di Scascoli si osservano tre principali rotture di pendenza, di seguito denominate rp1, rp2 ed rp3 (fig. 6).

- La rottura di pendenza rp1 è situata poco a monte del passaggio per faglia dalle F.ni di Montepiano e di Antognola, molto erodibili, alle F.ni di Contignaco e di Pantano (Gr. Bismantova), poco erodibili (fig. 2). Con rp1 inizia la "rapida" del T. Savena nelle Gole di Scascoli.
- La rottura di pendenza rp2 è situata nella zona di più profonda indentazione tra il piede della grande frana in destra idrografica e il substrato stabile in sinistra idrografica (fig. 2). Con rp2 si entra nel tratto più acclive della "rapida" del T. Savena, che in questo punto sta tuttora erodendo lo sbarramento creato dalla grande frana di Scascoli. Misure inclinometriche condotte tra il 2003 e il 2005 hanno dimostrato che la superficie basale di scorrimento della frana si trova da 5 a 7 m più in basso del *Thalweg*, e che il piede di frana continua ancora oggi ad avanzare di circa 2 cm all'anno. Misure topografiche condotte negli stessi anni hanno inoltre rivelato che l'unghia di frana si solleva di circa 2 cm all'anno. E' ragionevole supporre che questi movimenti siano da molto tempo "in competizione" con l'erosione del torrente. Tra il 1983 e il 1990, per difendere dall'erosione fluviale la nuova Strada Intercomunale di Fondovalle Savena, sono state costruite due briglie: la prima si trova 50 m a monte del Mammellone 1, mentre la seconda si trova 250 m a valle dello stesso. Il profilo longitudinale restituito dall'analisi fotogrammetrica mostra la situazione dell'alveo com'era prima di questi interventi. Dopo i crolli del 1992, del 2002 e del 2005 l'alveo ha subito ulteriori trasformazioni, causate dalle opere di ripristino e di protezione della Strada Intercomunale di Fondovalle Savena.

- La rottura di pendenza rp3 è situata al passaggio tra la F.ne di Pantano (Gr. Bismantova), poco erodibile, e la F.ne di Monterumici, molto erodibile. Nella F.ne di Monterumici il T. Savena ha modellato la varice del Molino di San Ansano (fig. 6), allargando il proprio fondovalle e ricoprendolo interamente di depositi alluvionali. Come si evince dalle foto aeree, tra 1971 e 1976 questi depositi sono stati in gran parte asportati da cave d'inerti. La ripresa d'erosione provocata da queste cave ha fatto affiorare nell'alveo del T. Savena il contatto tra la F.ne di Pantano e la F.ne di Monterumici, dando l'avvio al rapidissimo sviluppo di rp3.

In corrispondenza del corpo di frana, la sovrapposizione alla carta a curve di livello della restituzione vettoriale dei tratti salienti (fig. 7), ha permesso di evidenziare la forma del corpo di frana nel 1976. Tale forma è rimasta sostanzialmente invariata fino ad oggi, data la piccola entità dei movimenti annuali rilevati dalle misure inclinometriche e topografiche effettuate dal 2003 in poi.

### Conclusioni

Il presente studio ha voluto mostrare ancora una volta come la tecnica fotogrammetrica d'archivio permetta di estrarre informazioni metriche relative a uno specifico periodo della storia evolutiva di un fenomeno ambientale. Nel caso specifico della grande frana di Scascoli, la creazione del profilo altimetrico del torrente Savena ha permesso di valutare lo stato di avanzamento dell'erosione torrentizia dal momento in cui tale frana ha sbarrato il fondovalle. L'interpretazione geomorfologica del profilo prodotto ha confermato che la configurazione plano-altimetrica dell'alveo del Savena, fortemente alterata dalla messa in posto del corpo di frana, non è ancora ritornata alle condizioni di equilibrio in cui si trovava prima di tale evento.

L'analisi finora condotta riguarda solo un particolare momento della storia evolutiva dell'area in esame. Ai fini di un'analisi multitemporale si prevede di procedere al trattamento di altri voli aerofotogrammetrici storici, per la restituzione di caratteri geomorfologici confrontabili con quelli del 1976. In quest'ottica bisogna comunque considerare che gli spostamenti medi annui della frana sono tali da comportare cambiamenti, su un arco temporale di 40-50 anni, di un ordine di grandezza paragonabile alle precisioni raggiungibili col metodo fotogrammetrico applicato a questo caso.

### Ringraziamenti

Si ringrazia Jonathan De Felicibus per la realizzazione della tesi di laurea da cui ha preso spunto il presente articolo.

### Riferimenti bibliografici

- Bitelli G., Gatta G., Giorgini G., Minghetti A., Mognol A., Paselli E. (2006). *Recupero a Fini Metriche di Fotogrammi Aerei Storici per lo Studio delle Dinamiche Territoriali in Ambito Urbano: un caso di Studio*. Atti della 10<sup>a</sup> Conferenza Nazionale ASITA, Bolzano, 355-360
- Chandler J., Ashmore P., Paola C., Gooch M., Varkaris F. (2002). *Monitoring River-Channel Using Terrestrial Oblique Digital Imagery and Automated Digital Photogrammetry*. *Annals of the Association of American Geographers*, 92(4), 631-644
- De Felicibus J. (2010). *Uso metrico di fotogrammi storici, il caso di studio della frana di Scascoli*. Tesi di laurea specialistica in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, Università di Bologna
- Gottardi G., Landuzzi A., Marchi G., Benedetti G. (2004). *Sui complessi fenomeni di instabilità presso le Gole di Scascoli (Appennino settentrionale, Bologna)*. Atti del Simposio internazionale INTERPRAEVENT 2004, Riva, Trento, 25-36
- Landuzzi A., Bernagozzi G. (1996). *Geologia e geomorfologia della frana di Scascoli (Appennino settentrionale, Bologna, Italia)*. V Convegno Nazionale dei Giovani Ricercatori in Geologia Applicata, Cagliari
- Zanutta A., Bitelli G., Baldi P., Cardinali M., Carrara A. (2006). *Qualitative and quantitative photogrammetric techniques for multi-temporal landslide analysis*. *Annals of Geophysics*, vol. 49, N 4/5



## Un nuovo modello space-wise della gravità terrestre basato su otto mesi di dati GOCE

Andrea Gatti (\*), Federica Migliaccio (\*\*), Mirko Reguzzoni (\*\*), Fernando Sansò (\*)

(\*) DIIAR, Politecnico di Milano, Polo Territoriale di Como, Via Valleggio 11, 22100 Como (Italy)

Email: andrea.gatti@mail.polimi.it; Email: fernando.sanso@polimi.it

(\*\*) DIIAR, Politecnico di Milano, Piazza Leonardo da Vinci 32, 20133 Milano (Italy)

Email: federica.migliaccio@polimi.it; Email: mirko.reguzzoni@polimi.it

### Riassunto

Il modello globale del campo di gravità terrestre calcolato con l'approccio space-wise è una delle tre soluzioni ufficiali rilasciate dall'ESA dall'analisi dei dati GOCE. Il modello consiste in una serie di coefficienti dello sviluppo in armoniche sferiche e nella corrispondente matrice di covarianza dell'errore di stima. La principale caratteristica di questo approccio è quella di sfruttare la correlazione spaziale del campo di gravità per stimare griglie del potenziale e delle sue derivate seconde radiali all'altezza media del satellite; da queste griglie sono quindi derivati i coefficienti armonici per integrazione numerica. Il metodo proposto include anche un filtro di Wiener lungo l'orbita per ridurre la varianza e la correlazione del noise prima della procedura di *gridding*.

La prima versione del modello space-wise è stata rilasciata durante il simposio "ESA Living Planet" tenutosi a Bergen (Norvegia) nel luglio 2010. Questo modello era basato su circa due mesi di missione, sfruttava sia i dati del tracciamento GPS dell'orbita sia i dati gradiometrici e faceva uso di alcune informazioni a priori provenienti da modelli di gravità già esistenti, specialmente nei gradi bassi dello sviluppo in armoniche sferiche. In questo lavoro viene presentata la nuova soluzione space-wise ottenuta processando otto mesi di dati e rimuovendo le dipendenze dai modelli a priori per produrre una soluzione cosiddetta "GOCE-only". Il maggior numero di dati disponibili ha richiesto un ulteriore adattamento dell'approccio space-wise. Infatti, non essendo possibile calcolare la soluzione in un unico passo, è stato necessario prima suddividere i dati in sottointervalli, poi calcolare le griglie all'altezza del satellite per ogni sottointervallo ed infine combinare queste griglie sulla base della loro matrice di covarianza dell'errore di stima.

### Abstract

The global gravity field model computed by the space-wise approach is one of three official solutions delivered by ESA from the analysis of the GOCE data. The model consists of a set of spherical harmonic coefficients and the corresponding error covariance matrix. The main idea behind this approach is to exploit the spatial correlation of the gravity field to estimate grids of potential and its second order radial derivatives at mean satellite altitude; from these grids, spherical harmonic coefficients are then derived by numerical integration. The proposed method includes also a Wiener filter along the orbit to reduce the noise variance and correlation before gridding the data.

The first release of the space-wise model had been delivered during the ESA Living Planet Symposium at Bergen (Norway) in July 2010. It was based on a period of about two months, it exploited both the GPS tracking data and the gradiometric observations and it made use of some prior information coming from existing gravity field models, especially at low degrees. In this work the new space-wise solution computed by processing eight months of data and removing the dependencies on prior models to produce a so called "GOCE-only" solution is presented. The larger amount of data has required a further modification of the space-wise approach. Since it is not possible to compute the solution in a unique step, the full dataset has been firstly divided into subsets, then grids at satellite altitude have been computed for each subset and finally these grids have been merged together by weighting them according to their error covariance matrix.

### **L'approccio space-wise e la motivazione di questo lavoro**

L'approccio space-wise consiste in una collocazione a passi (Migliaccio et al. 2004; Reguzzoni & Tselfes 2009), sviluppata all'interno della "High-level Processing Facility" (HPF) della missione GOCE (Rummel et al. 2004) per la stima di coefficienti in armoniche sferiche del campo gravitazionale terrestre e della corrispondente matrice di covarianza dell'errore. La soluzione è basata sia sui dati di tipo SST (Satellite to Satellite Tracking) derivati dal ricevitore GPS a bordo del satellite che sui dati SGG (Satellite Gravity Gradients) osservati dal gradiometro elettrostatico posizionato all'interno di GOCE. In particolare la parte a bassa frequenza del campo è stimata a partire da orbite di tipo cinematico (Migliaccio et al. 2010a; Visser et al. 2010) usando l'approccio basato sul principio di conservazione dell'energia (Jekeli 1999; Visser et al. 2003). Le componenti ad alta frequenza sono poi derivate dalla combinazione del potenziale gravitazionale lungo orbita con le osservazioni dei gradienti di gravità. La matrice di covarianza dei coefficienti stimati è derivata da simulazioni Monte Carlo (Migliaccio et al. 2009).

La prima *release* del modello space-wise (SPW) (Migliaccio et al. 2010b) è stata rilasciata durante il simposio "ESA Living Planet" di Bergen nel luglio 2010. Era basata sui primi due mesi di dati GOCE ed è stata calcolata in modo tale da rappresentare una soluzione intermedia tra un modello GOCE-only puro (approccio time-wise, TIM, Pail et al. 2010) e un modello combinato (approccio diretto, DIR, Bruinsma et al. 2010). Si veda anche Pail et al. 2011 per ulteriori dettagli su questi modelli.

Successivamente, è stato deciso di spingere l'approccio space-wise verso una soluzione GOCE-only, rimuovendo dipendenze da modelli a priori dovute a dati non specificamente acquisiti dalla missione GOCE.

Queste dipendenze possono essere riassunte come segue:

- il modello EGM08 (Pavlis et al. 2008) era stato usato per modificare il potenziale stimato lungo l'orbita in modo tale da ridurre il suo errore alle bassissime frequenze;
- il modello GOCE *quick-look* (Mayrhofer et al. 2010) era stato usato come modello a priori per la soluzione space-wise ma non si trattava di un modello GOCE-only, dal momento che conteneva sia dati da orbite *reduced dynamic* (Visser et al. 2010) che una regolarizzazione nelle calotte polari (Metzler & Pail 2005) proveniente dal modello EIGEN5C (Förste et al. 2008).

Oltre a rimuovere queste dipendenze da dati non forniti direttamente dalla missione GOCE, sono state incorporate all'interno dell'approccio space-wise altre due principali caratteristiche:

- un pre processamento dei dati per rilevare e riparare *outlier*, interruzioni, etc.
- un metodo per la combinazione di soluzioni space-wise basate su dati provenienti da intervalli temporali differenti.

Quest'ultimo si è reso necessario in quanto il modello qui presentato è una soluzione derivata da circa otto mesi di osservazioni, che corrispondono a una quantità troppo elevata di dati per potere essere processati in un unico blocco; in particolare il periodo ricoperto va dal 31 ottobre 2009 fino al 6 luglio 2010.

Il *set* completo dei dati è stato diviso in cinque parti di differente durata (da pochi giorni a circa due mesi), contenenti sia dati orbitali che osservazioni gradiometriche. All'interno di ognuno di questi intervalli temporali, le osservazioni GOCE sono caratterizzate da una medesima calibrazione del gradiometro (Lamarre 2007). L'approccio space-wise, il cui schema è riportato in Figura 1, è stato applicato a ogni intervallo temporale, ottenendo differenti soluzioni (cioè griglie di dati e coefficienti in armoniche sferiche). Poi le griglie intermedie sono state combinate sulla base delle singole matrici di covarianza dell'errore, in modo da ottenere una soluzione finale unica da cui stimare il modello del campo di gravità (si veda la Figura 2).



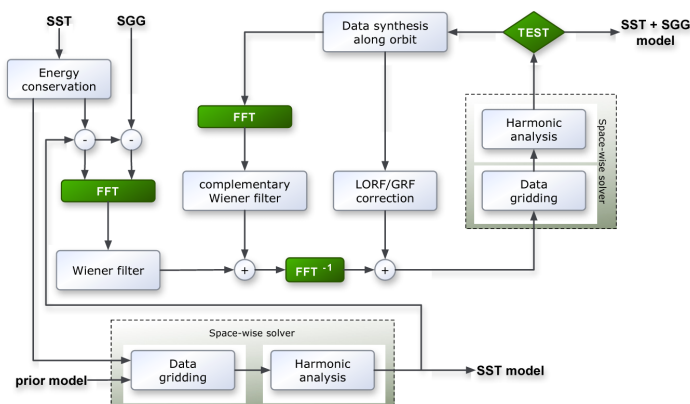


Figura 1 – Schema dell'approccio space-wise.

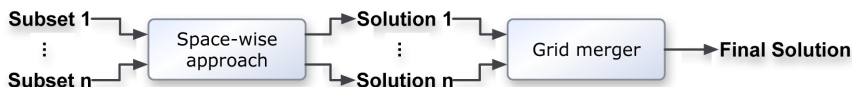


Figura 2 – Schema per il calcolo della soluzione space-wise finale.

### Pre processamento dei dati GOCE nell'approccio space-wise

I dati GOCE forniti dall'ESA e usati per calcolare i modelli del campo di gravità sono di eccellente qualità, anche se in rari casi sono affetti da alcune anomalie quali epoche mancanti, *outlier*, re-inizializzazioni del filtro di Kalman usato per la produzione dei gradienti di gravità, etc.

Viene applicata una procedura automatica basata su tecniche stocastiche per il riconoscimento di questi eventi e per la loro correzione. In seguito viene effettuato un controllo manuale e, se necessario, le correzioni vengono ricalcolate sulla base di parametri fissati dall'operatore.

A questo scopo, sono state sviluppate delle GUI (si veda la Figura 3) per controllare e migliorare il riconoscimento e la correzione delle anomalie.

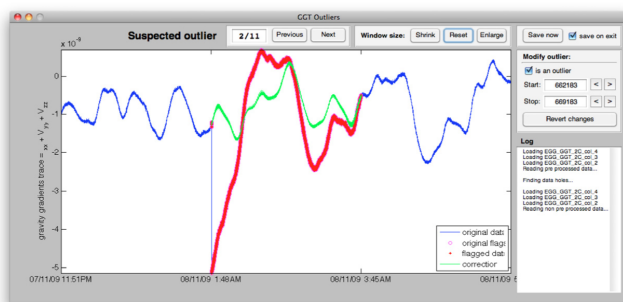


Figura 3 – Un esempio della GUI sviluppata per controllare e migliorare la selezione automatica degli outlier; in questa immagine è possibile vedere un salto seguito da una lunga anomalia dovuta a una re-inizializzazione del filtro di Kalman nei gradienti di gravità.

In blu: osservazioni, in rosso: valori segnati, in verde: correzioni.

Interruzioni e anomalie sono riempite con differenti tecniche che vanno dall'interpolazione lineare alla collocazione (Sansò 1986); i dati così calcolati vengono usati solo nella parte di procedura time-wise, ad esempio per applicare il filtro di Wiener lungo l'orbita (Papoulis 1984), cioè quando è utile o necessario avere continuità temporale nei dati. Nella procedura di *gridding* con collocazione, questi valori interpolati non vengono invece utilizzati.

### Rimozione delle dipendenze da dati esterni: un nuovo modello dell'errore del potenziale

Nel primo modello space-wise calcolato da dati GOCE (luglio 2010) il potenziale stimato lungo orbita era stato "corretto" con dati sintetizzati dal modello EGM08. Questa operazione aveva inevitabilmente introdotto un'importante informazione proveniente da EGM08 nei gradi molto bassi della soluzione space-wise (sotto il grado armonico  $20 \div 30$ ). Per comprendere il perché di questa "correzione", bisogna innanzitutto ricordare che la matrice di covarianza dell'errore di stima del potenziale è ottenuta per propagazione dalle varianze dell'errore delle posizioni cinematiche. La matrice di covarianza risultante è diagonale in banda (la dimensione della banda dipende dalla dimensione della finestra mobile usata per la stima della velocità del satellite) e non è di Toeplitz. Questo perché le varianze dell'errore delle posizioni cinematiche dipendono prevalentemente dalla latitudine. In ogni caso, mediando nel tempo le covarianze, è possibile ottenere una funzione di covarianza approssimata dell'errore di stima del potenziale da cui derivare la corrispondente densità spettrale di potenza (PSD) tramite trasformata di Fourier (Papoulis 1984). In Figura 4 è possibile vedere il confronto tra la PSD stimata e quella empirica calcolata usando EGM08 come riferimento.

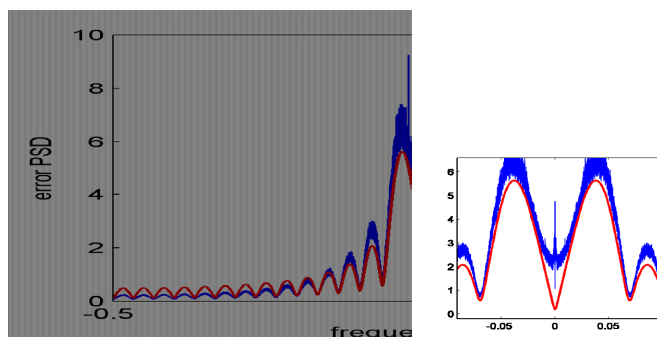


Figura 4 – PSD dell'errore del potenziale stimato. In blu: PSD empirico dell'errore rispetto a EGM08; in rosso: PSD stimato dall'errore delle posizioni nell'ipotesi di stazionarietà; a destra si vede un ingrandimento delle basse frequenze dello spettro.

Nella prima *release* della soluzione space-wise le discrepanze a basse frequenze erano state corrette "aggiustando" il potenziale stimato con quello sintetizzato a partire da EGM08. Ora i dati rimangono invariati, ma il modello della covarianza dell'errore è corretto in modo tale che le PSD empiriche e stimate siano consistenti tra loro. In particolare, una matrice di Toeplitz che descrive le correzioni alle basse frequenze viene sommata alla matrice di covarianza non stazionaria derivata dalla propagazione dell'errore delle posizioni (si veda la Figura 5).

$$C_{ee} = \begin{array}{|c|} \hline \text{non stationary} \\ \hline 0 \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline \text{Toeplitz} \\ \hline \text{structure} \end{array}$$

Figura 5 – La composizione della nuova matrice di covarianza dell'errore del potenziale.

### Rimozione delle dipendenze da dati esterni: un nuovo modello a priori del campo di gravità

Come già menzionato precedentemente, il modello *quick-look* introduce alcune dipendenze non volute da dati esterni. Per rimediare a questo effetto, un nuovo modello GOCE-only da usare come modello a priori è stato sviluppato all'interno dell'approccio space-wise.

Questo modello è basato su osservazioni provenienti dai primi due mesi di dati GOCE ed è stato usato per tutte le cinque soluzioni intermedie. È calcolato sfruttando una collocazione globale, cioè a partire da dati che coprono l'intera superficie terrestre, escluse le calotte polari, e mappando le osservazioni in coefficienti di armoniche sferiche senza passare dai dati grigliati. Si noti che la collocazione globale può funzionare sul segnale pieno, ma richiede un forte sotto campionamento per ragioni computazionali. In questo modo è stata ottenuta una prima soluzione della quale è però necessario migliorare l'accuratezza, soprattutto nelle zone polari. Più importante dell'accuratezza del modello, è la stima di un'affidabile covarianza dell'errore da usare successivamente per le simulazioni Monte Carlo. La covarianza dell'errore può essere stimata tramite collocazione perché in questo caso le *degree variance* sono idonee per descrivere la covarianza del segnale pieno.

Al fine di migliorare l'accuratezza del modello a priori è stata implementata una procedura di collocazione a passi (si veda la Figura 6). La procedura può essere riassunta come segue:

- otto collocazioni globali con sotto campionamento dei dati 1:800, ognuna agente su dati sfasati di 100 epoche;
- due collocazioni con sotto campionamento 1:100 (dati sfasati di 33 epoche), ma considerando solo osservazioni vicine alle calotte polari, così da migliorare l'estrapolazione nei gap polari.

Una volta calcolato il modello a priori, è stato applicato un *gridding* con collocazione a blocchi come nel classico approccio space-wise per produrre il modello SST.

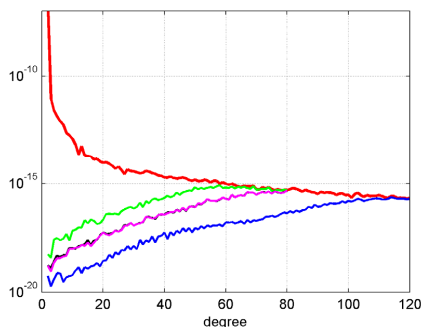


Figura 6 – Degree variance dell'errore di stima del modello SST.

- 1) verde: 1° passo di collocazione globale (1:800); 2) nero: 8° passo di collocazione globale (1:100);  
3) magenta: collocazione a "ciambella" (1:33); 4) blu: collocazione a blocchi (1:3, 20°×20°).

In Figura 7, è possibile osservare le differenze in termini di geoide da grado 2 a 20, nelle aree polari e limitrofe, tra EGM08 (i cui errori sono trascurabili rispetto a GOCE vicino ai poli) e i modelli stimati a differenti passi della procedura di collocazione. Si noti il cambio della scala dell'errore ai differenti passi. Al termine della procedura l'errore nelle aree polari risulta minore rispetto al corrispondente errore della soluzione time-wise basata sui primi due mesi di dati.

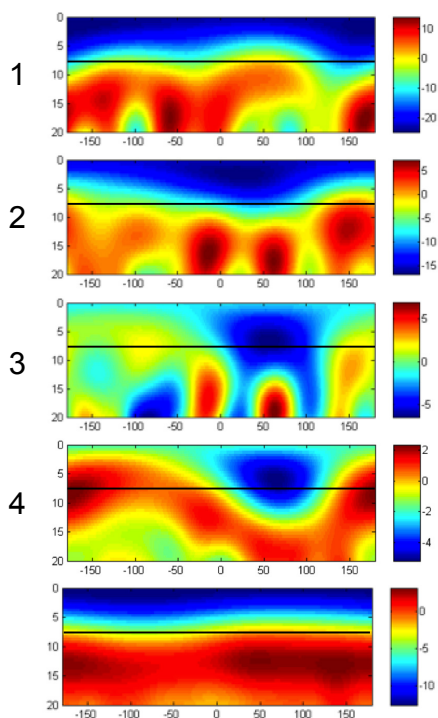


Figura 7 – Differenze di geoida [cm] nella calotta polare artica tra EGM08 e il modello stimato ai vari passi della procedura di collocazione (stessa sequenza della Figura 6).

Ultimo pannello: soluzione TIM. Linea nera: limite dell'orbita di GOCE.

### Il modello di covarianza del segnale SST nell'approccio space-wise

Nell'approccio space-wise prima di effettuare l'operazione di *gridding* viene rimosso dai dati un modello a priori, così da rendere la collocazione più efficiente, ma per questo è necessario che la covarianza del segnale residuo sia ben modellata.

A differenza del modello *quick-look* che era stato usato nella prima *release* della soluzione space-wise, il nuovo modello a priori derivato dall'analisi di dati SST produce un segnale residuo con forti anisotropie soprattutto a causa dei polar gap (Sneeuw & van Gelderen 1997). Si noti che la covarianza del segnale residuo è semplicemente la covarianza dell'errore di stima del modello a priori adottato.

Teoricamente sarebbe necessario propagare la matrice di covarianza piena dell'errore del modello SST ai differenti funzionali di osservazione (potenziale e gradienti di gravità). In pratica la covarianza del modello SST può essere così approssimata (in ordine decrescente di accuratezza):

- matrice di covarianza diagonale a blocchi (ordine per ordine);
- matrice di covarianza diagonale con varianze differenti  $\sigma_{im}^2$  per ogni coefficiente;
- matrice di covarianza diagonale con *degree variance*  $\sigma_\ell^2$ .

Nell'attuale implementazione del *gridding* tramite collocazione sono tenute in considerazione solo le *degree variance*. Questa scelta ha come principale vantaggio la riduzione del carico computazionale, ma richiede alcuni adattamenti per tenere in considerazione le varie anisotropie dell'errore dei coefficienti del modello SST (si vedano le Figure 8 e 9).

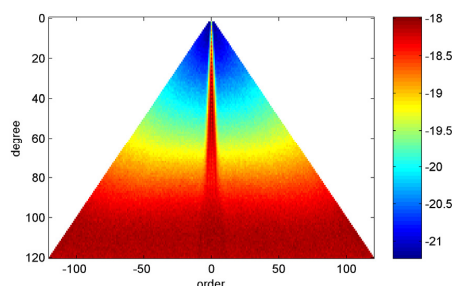


Figura 8 – Varianza degli errori dei coefficienti del modello SST (scala  $\log_{10}$ ).

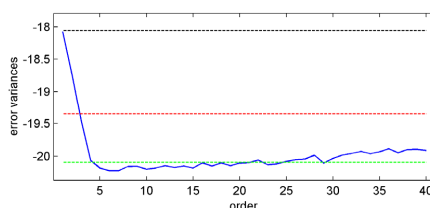


Figura 9 – Varianza degli errori dei coefficienti coseno del modello SST a grado 40;  
 blu: varianze; nero: varianza massima; rosso: degree variance;  
 verde: degree median al quadrato.

Per stimare il nuovo modello space-wise sono state implementate due iterazioni dello schema di Figura 1:

- nella prima le *degree variance* vengono sovrastimate al massimo valore di varianza per ogni grado, così da permettere una buona estrapolazione nei *polar gap* che in effetti agiscono prevalentemente sugli ordini bassi (Sneeuw & van Gelderen 1997);
- nella seconda le *degree variance* sono state sostituite con le *degree median*, in modo da pesare meglio i coefficienti non affetti da *polar gap*.

Questo approccio a passi è comunque una soluzione approssimata. La soluzione più ragionevole, ma computazionalmente più pesante, sarebbe probabilmente di considerare covarianze a blocchi per gli ordini bassi e le singole varianze per i restanti coefficienti.

### Combinazione delle soluzioni space-wise intermedie

Come già menzionato, gli otto mesi di dati GOCE usati per calcolare la nuova soluzione sono stati dapprima divisi in parti temporalmente contigue e con caratteristiche simili, poi pre processati in modo tale da individuare e rimuovere gli *outlier* e ricostruire piccole interruzioni nei dati. Gli intervalli temporali privi di un numero sufficiente di dati sono stati scartati.

Per produrre la soluzione qui presentata sono stati selezionati cinque blocchi di dati; degli iniziali otto mesi di dati, solo l'80% è stato effettivamente usato (si veda la Figura 10).



Figura 10 – Sottoinsiemi dei dati usati per il nuovo modello space-wise; in grigio, i sottoinsiemi di dati eliminati; in verde, i sottoinsiemi di dati utilizzati per il calcolo del modello.

Il modello finale è stato ottenuto attraverso i seguenti passi di calcolo (si veda la Figura 11):

- ogni blocco di dati è stato processato usando il classico approccio space-wise (si veda di nuovo la Figura 1) producendo griglie di potenziale e delle sue derivate seconde radiali, più campioni Monte Carlo (MC) che descrivono l'errore;
- le diverse griglie dei due funzionali sono state unite insieme pesando i dati che cadono in una finestra mobile sulla base delle matrici di covarianza dell'errore. Queste matrici sono calcolate a partire dai campioni MC.
- un procedimento di analisi armonica è stato applicato a queste due griglie finali, ottenendo due *set* di coefficienti che sono stati infine combinati tramite collocazione. La combinazione è basata nuovamente sulle covarianze dell'errore ottenute con metodo MC.

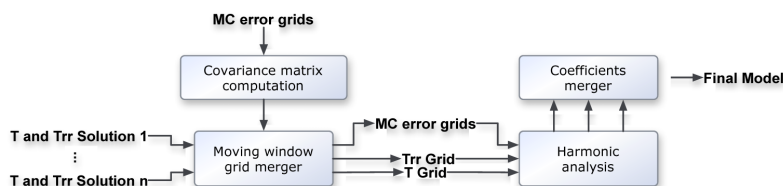


Figura 11 – Schema per il calcolo del modello finale da soluzioni intermedie space-wise.

Una più semplice alternativa sarebbe stata di combinare direttamente *set* di coefficienti armonici sulla base della loro matrice di covarianza dell'errore. In questo caso, per rendere l'inversione della matrice di covarianza più stabile e rapida si sarebbe potuto utilizzare una matrice approssimata come diagonale a blocchi. Comunque, dal momento che alcuni sottoinsiemi di dati contengono una sequenza molto breve di epoche, la distribuzione spaziale dell'errore delle corrispondenti soluzioni non è dipendente dalla latitudine e quindi l'approssimazione diagonale a blocchi della matrice di covarianza dell'errore non sarebbe stata molto affidabile.

Viceversa, una combinazione basata su una finestra mobile può meglio descrivere la distribuzione locale dell'errore nei differenti blocchi di dati.

## Risultati

Come conseguenza degli aggiornamenti implementati, si può affermare che l'approccio space-wise è ora in grado di produrre soluzioni GOCE-only.

Per evidenziare le caratteristiche di questa nuova soluzione, un modello space-wise basato sulla catena di processing aggiornata e calcolato usando soli due mesi di dati è stato confrontato con la "soluzione di Bergen" (anch'essa ottenuta da due soli mesi di dati GOCE, ma non GOCE-only).

Il risultato di questi confronti è riportato in Figura 12. Come ci si poteva aspettare la nuova soluzione space-wise è peggiore ai gradi bassi, perché la vecchia soluzione faceva uso di dati GRACE (attraverso EGM08 ed EIGEN5C) i quali sono notoriamente superiori ai dati GOCE per i gradi bassi. Nel confronto con la soluzione time-wise il comportamento leggermente migliore sotto grado  $70 \div 80$  (pannello a sinistra nella Figura 12) può essere attribuito ad una miglior stima dei coefficienti di ordine basso, cioè a una miglior estrapolazione dei dati nelle calotte polari (si veda anche la Figura 7). D'altra parte la soluzione space-wise sembra essere sovra-regolarizzata ai gradi più alti (che possono essere meglio osservati nel pannello a destra nella Figura 12). Ciò è dovuto molto probabilmente all'uso di un modello approssimato per la covarianza del segnale residuo nell'operazione di *gridding* tramite collocazione (si veda la Sezione 4).



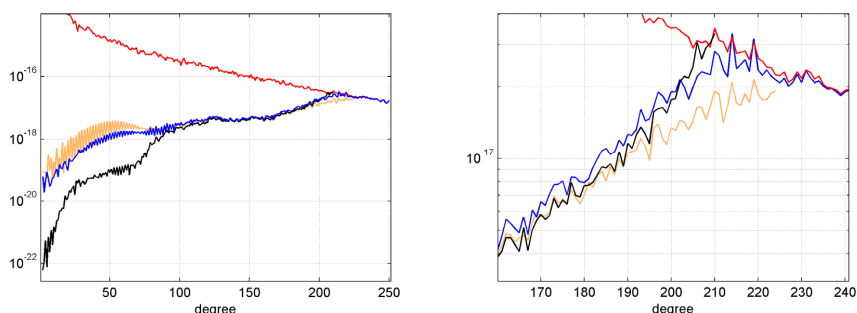


Figura 12 – Degree variance dell'errore di stima nella nuova soluzione SPW (in blu), confrontato con la precedente soluzione SPW (in nero) e con la soluzione TIM (in arancio); tutti i modelli sono basati sui primi due mesi di dati della missione GOCE; il riferimento è EGM08. Nel pannello a destra la figura è ingrandita da grado 160 in avanti.

Passando alla soluzione basata su otto mesi di dati, la prima considerazione che si può trarre è che il modello space-wise GOCE-only migliora l'accuratezza della stima in quanto sfrutta tre volte l'ammontare dei dati disponibili per la prima *release*. Questo può essere notato, ad esempio, dai grafici delle *degree median* dell'errore rispetto ad EGM08 (pannello a sinistra nella Figura 13). Le *degree median* sono preferite alle *degree variance* perché sono più robuste rispetto all'effetto dei *polar gap* e quindi enfatizzano meglio il miglioramento ottenuto. Escludendo i gradi medi in cui l'errore di EGM08 è dominante, il miglioramento è chiaramente visibile.

Le *degree variance* dell'errore del modello space-wise finale, calcolate rispetto a EGM08 e stimate con il metodo Monte Carlo, sono mostrate nel pannello a destra nella Figura 13 con lo scopo di evidenziare la buona affidabilità della stima dell'errore. Le corrispondenti *degree variance* dell'errore del modello time-wise (TIM) sono mostrate sempre in Figura 13 a scopo di confronto.

Una rappresentazione più dettagliata della struttura dell'errore può essere vista in Figura 14, dove è mostrato il miglioramento ottenuto in termini di varianza dell'errore dei singoli coefficienti.

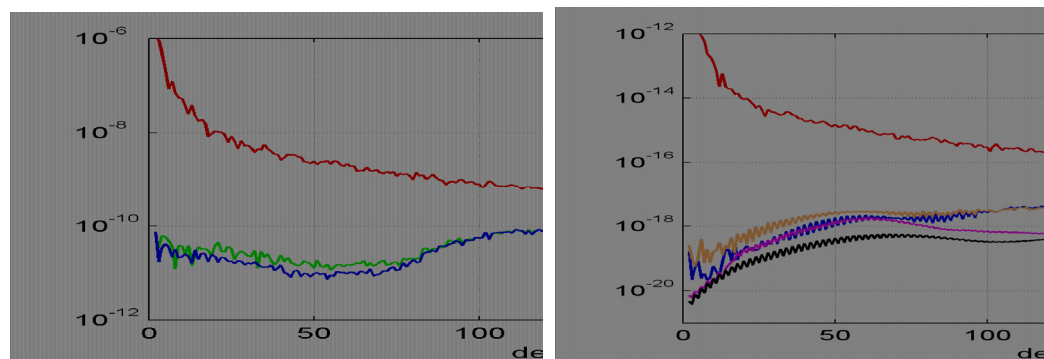


Figura 13 – A sinistra: *degree median* dell'errore della soluzione SPW di otto mesi (in blu), confrontata con la soluzione SPW di due mesi (in verde), modello di riferimento EGM08. A destra: *degree variance* dell'errore della soluzione SPW, calcolate rispetto a EGM08 (in blu) e stimate da simulazioni Monte Carlo (in magenta); *degree variance* dell'errore della soluzione TIM sempre calcolate rispetto ad EGM08 (in arancione) e derivate dalla matrice di covarianza dell'errore (in nero).

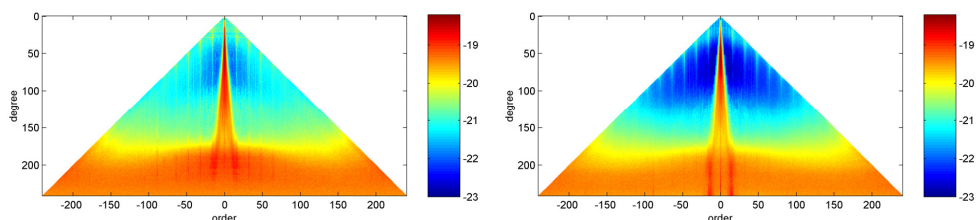


Figura 14 – Varianze dell'errore dei coefficienti (scala  $\log_{10}$ ) per la soluzione SPW basata su due mesi di dati (a sinistra) e la soluzione SPW finale (a destra).

Nel corso della catena di processamento space-wise, vengono calcolate griglie di osservabili GOCE (potenziale  $T$  e derivate seconde radiali  $T_{rr}$ ) ad altezza del satellite con una risoluzione di  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ ; le covarianze dei loro errori sono usate per la combinazione delle soluzioni intermedie. Un importante aspetto per gli utenti scientifici è che tali griglie possono essere rese disponibili e sfruttate anche per applicazioni geofisiche.

In Figura 15 è mostrato il miglioramento dell'errore delle griglie di  $T_{rr}$  dalla soluzione di due mesi a quella finale, in termini di deviazione standard. Le differenze tra la griglia di  $T_{rr}$  calcolata dall'approccio space-wise sui dati GOCE e quella ricavata da EGM08 sono mostrate in Figura 16, enfatizzando le aree dove EGM08 può beneficiare maggiormente da dati GOCE, quali ad esempio zone del Sud America, Africa Centrale, Himalaya, etc.

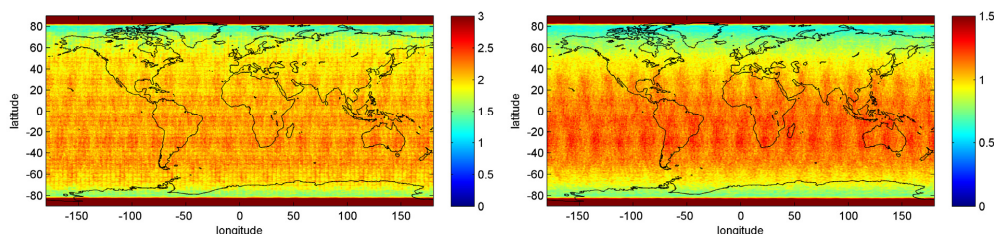


Figura 15 – Deviazione standard dell'errore [mE] della griglia di  $T_{rr}$  per la soluzione SPW basata su due mesi di dati (a sinistra) e per la soluzione SPW finale (a destra).

Si noti la differente scala di colori.

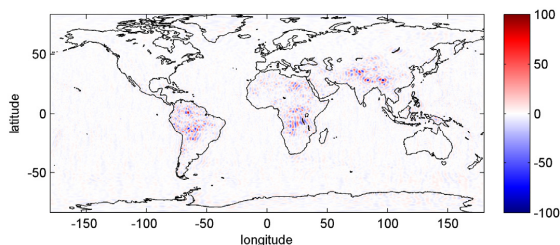


Figura 16 – Differenze [mE] tra la griglia GOCE di  $T_{rr}$  stimata con l'approccio SPW e la corrispondente griglia di  $T_{rr}$  ricavata da EGM08.

L'errore di commissione in termini di ondulazione del geoide nell'intervallo di latitudine  $-80^\circ < \varphi < 80^\circ$  in funzione del massimo grado armonico è mostrato in Figura 17 a sinistra. Lo stesso grafico in termini di anomalie di gravità è mostrato in Figura 17 a destra. Si può osservare che le accuratezze stimate del modello space-wise fino a grado ed ordine 200 sono circa 8.5 cm in termini di ondulazione del geoide e circa 2.5 mgal in termini di anomalie di gravità. La risoluzione massima del modello rilasciato è pari a grado armonico 240.

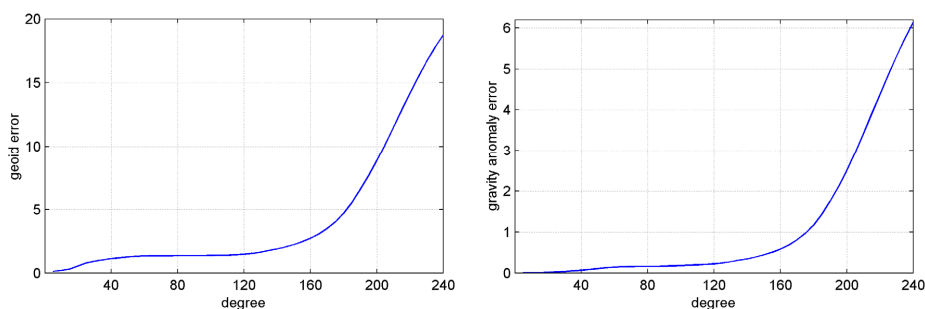


Figura 17 – Errore di commissione in termini di ondulazione del geoide [cm] e in termini di anomalie di gravità [mgal] nell'intervallo di latitudine  $-80^\circ < \varphi < 80^\circ$ .

## Conclusioni

L'analisi presentata in questo articolo mostra che l'approccio space-wise è in grado di produrre un modello GOCE-only basato su diversi mesi di dati GOCE.

Al momento la principale debolezza della soluzione sembra essere una sovra-regolarizzazione ai gradi alti. Questo problema può essere risolto migliorando il modello di covarianza del segnale residuo. Inoltre, la caratteristica delle singole soluzioni intermedie di essere regolarizzate (sono tutte basate su un'operazione di *gridding* tramite collocazione) contribuisce alla sovra-regolarizzazione del modello combinato. Per impedire questo svantaggio, invece di calcolare molte soluzioni intermedie, si potrebbe pensare di aggiornare la soluzione precedente con i nuovi dati disponibili. Ciò può essere effettuato con una procedura di collocazione a passi, dove il modello di covarianza del segnale residuo è di nuovo un fattore chiave del risultato.

## Ringraziamenti

Questo lavoro è sviluppato all'interno del contratto ESA 18308/04/NL/NM (GOCE HPF), in collaborazione con i colleghi di UCPH (Copenhagen). Si ringrazia in particolare Matija Herceg, studente di dottorato presso DTU Space (Copenhagen).

## RIFERIMENTI

- Bruinsma S.L., Marty J.C., Balmino G., Biancale R., Förste C., Abrikosov O. & Neumayer H. (2010). GOCE gravity field recovery by means of the direct numerical method. In: *Proc. of the ESA Living Planet Symposium*, Bergen (Norway), ESA SP-686, ISBN 978-92-9221-250-6, ISSN 1609-042X.
- Förste C., Flechtner F., Schmidt R., Stubenvoll R., Rothacher M., Kusche J., Neumayer H., Biancale R., Lemoine J.M., Barthelmes F., Bruinsma S., Koenig R. & Meyer U. (2008). EIGEN-GL05C - A new global combined high-resolution GRACE-based gravity field model of the GFZ-GRGS cooperation. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 10, EGU2008-A-03426.
- Jekeli C. (1999). The determination of gravitational potential differences from satellite-to-satellite tracking. *Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy*, Vol. 75, pp. 85-101.

- Lamarre D. (2007). The very basic principles of the GOCE gradiometer in-flight calibration. In: *Proc. of the 3rd International GOCE User Workshop*, ESA SP-627, pp. 91-94.
- Mayrhofer R., Pail R. & Fecher T. (2010). Quick-look gravity field solution as part of the GOCE quality assessment. In: *Proc. of the ESA Living Planet Symposium*, Bergen (Norway), ESA SP-686, ISBN 978-92-9221-250-6, ISSN 1609-042X.
- Metzler B. & Pail R. (2005). GOCE data processing: the spherical cap regularization approach. *Studia Geophysica et Geodaetica*, Vol. 49, N. 4, pp. 441-462.
- Migliaccio F., Reguzzoni M. & Sansò F. (2004). Space-wise approach to satellite gravity field determination in the presence of coloured noise. *Journal of Geodesy*, Vol. 78, N. 4-5, pp. 304-313.
- Migliaccio F., Reguzzoni M., Sansò F. & Tselfes N. (2009). An error model for the GOCE space-wise solution by Monte Carlo methods. In: *LAG Symposia, "Observing our Changing Earth"*, Sideris M.G. (ed), Vol. 133, Springer-Verlag, Berlin, pp. 337-344.
- Migliaccio F., Reguzzoni M. & Tselfes N. (2010a). A simulated space-wise solution using GOCE kinematic orbits. *Bullettin of Geodesy and Geomatics*, N. 01/2010, pp. 55-68.
- Migliaccio F., Reguzzoni M., Sansò F., Tscherning C.C. & Veicherts M. (2010b). GOCE data analysis: the space-wise approach and the first space-wise gravity field model. In: *Proc. of the ESA Living Planet Symposium*, Bergen (Norway), ESA SP-686, ISBN 978-92-9221-250-6, ISSN 1609-042X.
- Pail R., Goiginger H., Mayrhofer R., Schuh W.D., Brockmann J.M., Krasbutter I., Höck E. & Fecher T. (2010). Global gravity field model derived from orbit and gradiometry data applying the time-wise method. In: *Proc. of the ESA Living Planet Symposium*, Bergen (Norway), ESA SP-686, ISBN 978-92-9221-250-6, ISSN 1609-042X.
- Pail R., Bruinsma S., Migliaccio F., Förste C., Goiginger H., Schuh W.D., Höck E., Reguzzoni M., Brockmann J.M., Abrikosov O., Veicherts M., Fecher T., Mayrhofer R., Krasbutter I., Sansò F. & Tscherning C.C. (2011). First GOCE gravity field models derived by three different approaches. *Journal of Geodesy*, in stampa.
- Papoulis A. (1984). *Signal analysis*. McGraw Hill, New York.
- Pavlis, N.K., Holmes S.A., Kenyon S.C. & Factor J.K. (2008). An Earth Gravitational Model to Degree 2160: EGM2008. *Presented at the 2008 General Assembly of the EGU*, Vienna, April 13-18, 2008.
- Reguzzoni M. & Tselfes N. (2009). Optimal multi-step collocation: application to the space-wise approach for GOCE data analysis. *Journal of Geodesy*, Vol. 83, N. 1, pp. 13-29.
- Rummel R., Gruber T. & Koop R. (2004). High Level Processing Facility for GOCE: Products and Processing Strategy. In: *Proc. of the 2nd International GOCE User Workshop*, ESA SP-569.
- Sansò F. (1986). Statistical methods in physical geodesy. In: *Lecture Notes in Earth Sciences, "Mathematical and Numerical Techniques in Physical Geodesy"*, Sünkel H. (ed), Vol. 7, Springer-Verlag, Berlin, pp. 49-155.
- Sneeuw N. & van Gelderen M. (1997). The polar gap. In: *Geodetic Boundary Value Problems in View of the One Centimeter Geoid*, Lecture Notes in Earth Sciences, Vol. 65, Springer, Berlin, pp. 559-568.
- Visser P.N.A.M., Sneeuw N. & Gerlach C. (2003). Energy integral method for gravity field determination from satellite orbit coordinates. *Journal of Geodesy*, Vol. 77, N. 3-4, pp. 207-216.
- Visser P.N.A.M., van den Ijseel J., van Helleputte T., Bock H., Jäggi A., Beutler G. & Heinze M. (2010). Rapid and precise orbit determination for the GOCE satellite. In: *Proc. of the ESA Living Planet Symposium*, Bergen (Norway), ESA SP-686, ISBN 978-92-9221-250-6, ISSN 1609-042X.

## **Studio dell'effetto della gravità su circuiti chiusi della livellazione di alta precisione in presenza di dislivelli molto elevati**

G. Gentile (\*), R. Maseroli (\*), F. Sacerdote (\*\*)

(\*) Istituto Geografico Militare di Firenze

(\*\*) DICEA, Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale, Università degli Studi di Firenze.

### **Riassunto**

In questo lavoro si vuole descrivere qualitativamente e quantitativamente l'influenza del dato gravimetrico sui poligoni altimetrici della rete di livellazione di alta precisione italiana, che si sviluppano lungo percorsi dove si osservano notevoli variazioni di quota in brevi tratti. Tale influenza può essere determinata eseguendo la chiusura altimetrica dei poligoni in quote geopotenziali, lungo percorsi chiusi dove deve essere necessariamente presente la misura della gravità, secondo procedure ampiamente descritte in letteratura. A titolo di esempio il Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale dell'Università di Firenze in collaborazione con l'Istituto Geografico Militare e il Politecnico di Milano, hanno analizzato l'errore di chiusura dei poligoni in quote geopotenziali rispetto all'errore di chiusura dei poligoni in quote "brute", ottenute dalla livellazione geometrica di alta precisione. Nello specifico si è applicata la procedura di calcolo studiata ad un percorso chiuso fra Piemonte e Valle d'Aosta, in quanto l'errore di chiusura altimetrico risulta essere al disopra della tolleranza richiesta. Tale percorso presenta un dislivello che supera i 2000m, ed è interessante anche dal punto di vista geologico, in quanto esistono delle anomalie di gravità positive e negative causate dalla presenza corpi geologici superficiali e profondi ad alta densità. Per queste ragioni esso è particolarmente adatto per verificare l'influenza delle variazioni della gravità nelle misure di livellazione geometrica.

### **Abstract**

*The influence of gravity measurements on the altimetric profiles of the Italian high precision leveling network, particularly in presence of relevant height variations on short distances, is qualitatively and quantitatively discussed. This influence can be determined considering the residuals of geopotential numbers along closed profiles, where gravity measurements must be available, according to procedures widely illustrated in literature. As an example, the Department of Civil and Environmental Engineering of Florence University, in collaboration with the Italian Military Geographic Institute, have compared the residuals of geopotential numbers and of adjusted height differences resulting from high precision geometric leveling along a closed profile between Piemonte and Aosta Valley in North-Western Italy, where leveling residuals are above tolerance. Indeed, the height difference along this profile is larger than 2000m, and the region is particularly interesting from the geological point of view, as it presents negative and positive gravity anomalies due to high density surface and deep geological bodies. For these reasons it is particularly fit to verify the influence of gravity variations on geometric leveling residuals.*

### **Lo stato dell'arte dell'altimetria in Italia e in Europa**

Il datum di altezza ufficiale sul territorio italiano è definito dalla rete di livellazione di alta precisione istituita dall'IGM, che si sviluppa per una lunghezza complessiva di circa 20.000km (vedi figura 1). Le quote attribuite ai capisaldi, che sono distanziati all'incirca di 1km, risultano dalla compensazione delle misure di livellazione geometrica eseguite lungo l'intera rete e periodicamente ripetute.

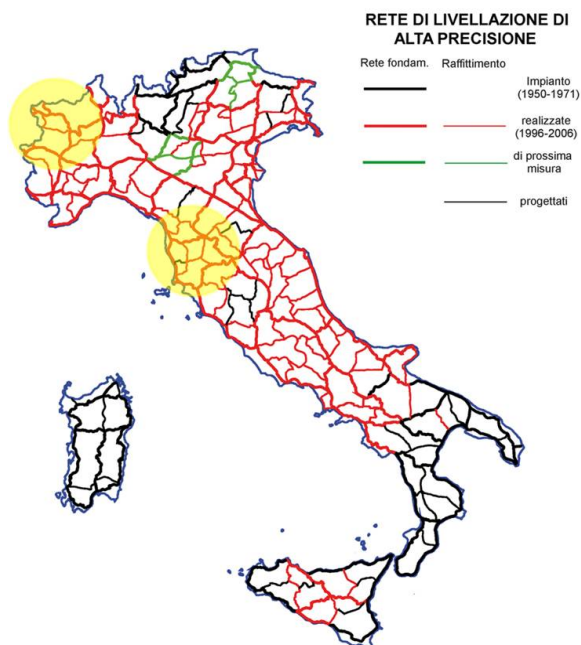


*Figura 1 – Rappresentazione delle linee della Rete di livellazione italiana di alta precisione. In giallo sono rappresentate le aree interessate, (fonte IGM, Istituto Geografico Militare).*

Inoltre, negli anni '70 del '900 sono state eseguite misure di gravità su gran parte dei capisaldi delle linee allora esistenti (linee disegnate in grassetto, vedi figura 1), per la partecipazione dell'Italia alle attività UELN (United European Levelling Network), [3], che richiedeva il calcolo di quote geopotenziali compensate sui nodi della rete, allo scopo di realizzare un'unica rete di livellazione che coprisse il territorio di tutti i paesi dell'Europa occidentale [9], [10]. Queste misure sono documentate nei tabulati IGM, ma non risulta alcuna pubblicazione scientifica relativa alla loro elaborazione.

Successivamente, negli anni '90 sono state prodotte nuove soluzioni UELN, che tenevano conto sia della partecipazione di nuovi paesi, prevalentemente dell'Est europeo, sia del raffittimento delle reti altimetriche di diversi paesi dell'Europa centro-settentrionale.

Negli stessi anni, con l'istituzione della rete EUREF di stazioni permanenti GPS, è stato avviato il progetto EUVN, [2], [3] (European Vertical Network) con lo scopo di stabilire un collegamento fra la rete di livellazione europea e il sistema di riferimento definito da EUREF. Si è così giunti all'istituzione del sistema di riferimento verticale EVRS (European Vertical Reference System), le cui successive realizzazioni tengono conto degli aggiornamenti dei dati altimetrici forniti dai vari paesi [11], [12].

Anche l'Italia ha dato di recente un contributo a quest'ultima fase di elaborazione fornendo i dati relativi a circa 80 stazioni distribuite su tutto il territorio nazionale.

E' da osservare che le prime soluzioni EUVN presentavano forti discrepanze in varie parti del territorio Europeo rispetto al modello di geoide europeo allora disponibile, EGG97 (vedi figura 2); soluzioni più recenti, basate sul modello di geoide EGG08 (vedi figura 3), forniscono risultati nettamente più accettabili, con l'eccezione della Gran Bretagna, anche se è ancora evidente un tilt nella direzione NE-SW [5].



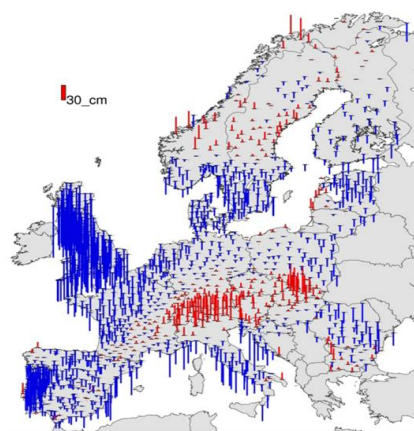


*Figura 2 – EUVN-DA and EGG97 height anomaly differences, [5].*

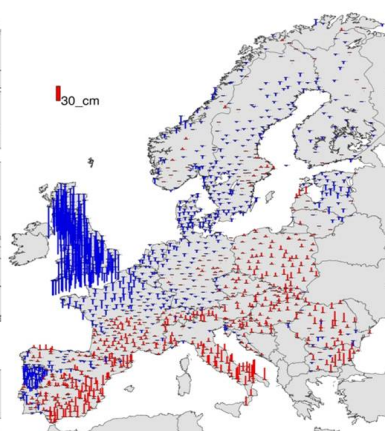


*Figura 3 – EUVN-DA and EGG98 height anomaly differences, [5].*

### **Introduzione al problema: le superfici equipotenziali**

E' noto che, a causa del non parallelismo delle superfici equipotenziali del campo della gravità, i dislivelli misurati lungo profili con la livellazione geometrica dipendono non solo dai punti di partenza e di arrivo ma anche dal percorso, e quindi in linea di principio non sono direttamente utilizzabili per la determinazione delle quote, [1].

Di fatto, tuttavia, le differenze di dislivelli su percorsi diversi in generale sono al più dello stesso ordine di grandezza degli errori casuali di misura. Di conseguenza, anche nelle reti di livellazione di alta precisione, come quella istituita dall'IGM sul territorio nazionale, si usa compensare gli scarti di chiusura sulle maglie della rete come se fossero dovuti unicamente a errori di misura.

Fanno eccezione i percorsi che presentano dislivelli molto elevati, in particolare in aree geologicamente disomogenee, in cui si possono presentare forti differenze nelle densità delle rocce. E' questo il caso dall'area compresa fra Piemonte nord-occidentale e Valle d'Aosta, dove in effetti lo scarto di chiusura della livellazione su un percorso chiuso con dislivelli superiori ai 2000m è risultato significativamente fuori tolleranza.

La verifica della qualità della campagna di misure di livellazione può essere fatta considerando gli scarti di chiusura delle differenze di potenziale del campo della gravità, che dipendono solo dagli estremi e non dal particolare cammino percorso, e richiede che siano eseguite misure gravimetriche lungo il percorso. Queste misure non sono però disponibili su gran parte del percorso esaminato.

La presente ricerca, che si avvale anche del contributo di ricercatori del DIAR del Politecnico di Milano e del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Torino, ha lo scopo di fare una ricognizione dei dati di gravità disponibili nell'area di interesse, della loro accuratezza e della possibilità di eseguire interpolazioni lungo i profili di livellazione sufficientemente accurate per consentire un calcolo delle differenze di potenziale utilizzabile per la verifica della campagna di livellazione.

Verifiche eseguite su altri profili di livellazione lungo i quali erano disponibili dati gravimetrici hanno mostrato che, dove la densità di misure di gravità nell'area è sufficientemente elevata, anche i valori interpolati lungo il profilo consentono stime delle differenze di potenziale sufficientemente accurate.

### Calcolo dei dislivelli geopotenziali

In una prima fase si sono presi come dati di partenza i dati grezzi di livellazione di alta precisione non compensati nei capisaldi in cui si aveva il corrispondente valore di gravità. A questi dati si è applicata la seguente procedura di calcolo per la determinazione del dislivello geopotenziale:

- si sono ordinate le linee di livellazione con riferimento sul caposaldo di chiusura;
- si sono calcolati i dislivelli progressivi tra punti scelti lungo le linee di livellazione di alta precisione  $\Delta = Q_Z - Q_A$ ;
- si è calcolato il dislivello geopotenziale progressivo tra punti successivi

$$\Delta_{\text{geop}} = \Delta \times 0.5 \times (g_Z + g_A)$$

Il calcolo è stato applicato in un primo tempo al poligono in Toscana costituito dalle linee 27, 28, 29, e 30 della rete IGM. I risultati ottenuti hanno permesso di capire che il valore della chiusura altimetrica derivante dai dati di livellazione viene migliorato, con l'applicazione della procedura, di circa il 13%, risultato di per se buono ma poco significativo.

Tale risultato porta alle seguenti considerazioni:

1. nelle linee di livellazione eseguite in zone pianeggianti (lungo i fondi valle), dove non competono grosse variazioni di quota, l'apporto della correzione di gravità è di piccola entità.
2. la correzione di gravità applicata a poligoni chiusi sui cui competono notevoli variazioni di quota potrebbe portare a risultati significativi.

Quindi ci si è posti il problema di dove applicare la procedura studiata. A tal fine in collaborazione con l'Istituto Geografico Militare si è scelto il poligono di IVREA costituito dalla linea 155 e da un tratto della linea AF della rete IGM (vedi figura 4), dove si osservano notevoli variazioni di quota, in brevi tratti.

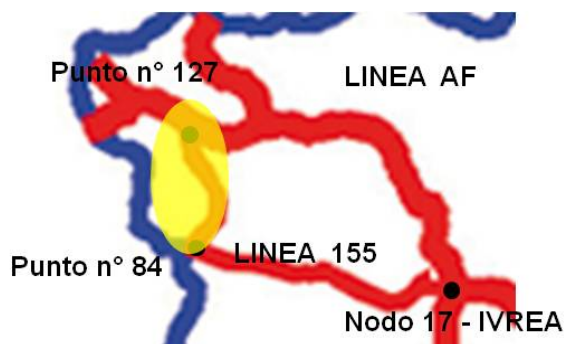


Figura 4 – Rappresentazione delle linee di livellazione della Rete relative al poligono di Ivrea, in giallo è rappresentata la zona in cui mancano i dati gravimetrici (fonte IGM, Istituto Geografico Militare).

I dati gravimetrici sul percorso scelto presentano una notevole eterogeneità: in parte (lungo la linea AF) sono stati misurati negli anni 50 – 70 con strumenti ormai obsoleti (con gravimetri di tipo Askania - Worden), altri (nel tratto Ivrea-Nivolet della linea 155) sono stati misurati recentemente (nel 2006 con il gravimetro La Coste & Romberg) con strumenti moderni, altri (nel tratto Nivolet-Villeneuve della linea 155, dove non sono disponibili misure dirette) sono stati interpolati utilizzando la base di dati utilizzata per il geoide nazionale. E' quindi essenziale valutare l'influenza degli errori di misura di  $g$  nel calcolo di  $\Delta W$  e l'influenza delle variazioni del gradiente di gravità.

La scelta del poligono di Ivrea è dovuta non soltanto alla presenza di notevoli dislivelli lungo il percorso, ma anche al particolare andamento del campo di gravità nell'area, dovuto alla particolare conformazione geologica. Infatti nella zona di Ivrea esiste una struttura cristallina, formatasi all'interno del mantello, che risale verso l'interno della crosta continentale sovrastante. Tale fenomeno pare sia generato dalla Orogenesi Alpina.

Tale corpo ad elevata densità orientato in direzione NE-SW è chiamato “*Corpo di Ivrea*”, e produce svariati effetti valutati in termini di variazioni anomale del campo della gravità terrestre, in variazioni anomale del campo magnetico terrestre e in variazione della velocità della propagazione delle onde sismiche [6], che attestano la posizione dello stesso a circa 10 km di profondità.

In particolar modo nella figura 5 viene mostrato il campo delle anomalie di Bouguer del Nord-ovest dell’arco alpino, dove vengono evidenziate le distribuzioni delle anomalie negative e positive nell’area; in particolare si osserva la presenza di una forte anomalia positiva compresa tra gli 80-120 mgal, orientata in direzione NE-SO in prossimità della zona Ivrea.

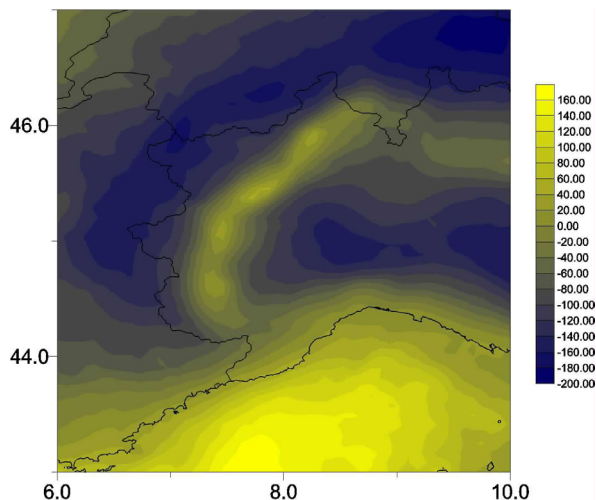


Figura 5 – Anomalie di Bouguer (mgal) nelle Alpi nordoccidentali [6].

Generalmente le anomalie positive sono tipiche delle zone oceaniche, a causa di fenomeni di disequilibrio isostatico dovuto al minor peso delle acque e delle rocce sottostanti rispetto al peso delle rocce in zona continentale; infatti come si può osservare nella parte in basso della figura 5 più ci si sposta verso il centro del Mare Tirreno più le anomalie divergono verso valori positivi.

La presenza di rocce provenienti dal mantello situate all’interno della crosta spiegherebbe le forti anomalie positive presenti. Questa struttura a causa della sua eccessiva densità influenzerebbe alcune osservazioni geodetiche quali le anomalie di gravità, la deviazione della verticale e le chiusure relative ad operazioni di livellazione di alta precisione.

### L’influenza delle variazioni del gradiente di gravità

Si è già osservato che in generale nelle reti di livellazione l’effetto della dipendenza dal cammino percorso è inferiore all’incertezza dovuta agli errori casuali di misura, che usualmente nei percorsi chiusi viene considerata proporzionale alla radice quadrata della lunghezza del profilo e dell’ordine di 2mm per un percorso di 1km, e viene quindi espressa dalla formula  $\Delta h = 2\sqrt{l}$ , dove  $\Delta h$  è espresso in mm e  $l$  in km, [8].

In effetti nella rete di livellazione nazionale di alta precisione istituita dall’IGM gli scarti di chiusura su gran parte dei percorsi chiusi risultano essere entro la tolleranza, e per questa ragione si è ritenuto che una compensazione di tipo tradizionale fornisca risultati ampiamente accettabili.

D’altra parte, le differenze di geopotenziale, date dall’espressione  $\Delta W = \int g \, ds$ , [7], [14], dipendono soltanto dagli estremi e non dal particolare percorso scelto, e quindi gli scarti di chiusura dipendono soltanto da errori nelle misure e da approssimazioni nelle procedure di calcolo, [13].

In effetti il loro calcolo richiede la discretizzazione dell'integrale e la misura di  $g$  lungo il percorso, e contiene quindi errori legati sia all'accuratezza delle misure gravimetriche sia alla loro densità lungo il percorso.

Ovviamente  $\Delta W$  non è direttamente confrontabile con  $\Delta h$ , avendo una diversa dimensione fisica. Lo è invece l'altezza dinamica, definita dal rapporto  $\Delta h_{dm} = \Delta W/g_0$ , dove  $g_0$  è un qualunque valore costante della gravità [7], [14].

Poiché  $g_0$  è molto vicino a 1kgal, il valore di  $\Delta h_{dm}$  espresso in m è prossimo al valore di  $\Delta W$  espresso in kgal-m. Assumendo che la gravità vari linearmente con l'altezza:  $g = g_0 + g'(h - h_0)$ , si ottiene:

$$\Delta h_{dm} = \frac{\Delta W}{g_0} = \frac{1}{g_0} \int_{h_0}^{h_0 + \Delta h} g dh = \Delta h + \frac{1}{g_0} \int_{h_0}^{h_0 + \Delta h} (g - g_0) dh = \Delta h + \frac{1}{2} \frac{g'}{g_0} \Delta h^2$$

Assumendo per  $g'$  un valore di -0.3mgal/m (vicino al valore del gradiente della gravità normale all'esterno dell'ellissoide in prossimità della superficie), si verifica che il termine correttivo quadratico nel dislivello assume valori che incominciano ad essere significativi per dislivelli di alcune centinaia di metri (ad esempio 6mm per  $\Delta h=200m$ ) e decisamente grandi per dislivelli maggiori raggiungibili sul nostro territorio (60cm per  $\Delta h=2000m$ ).

Per avere un'idea quantitativa dell'influenza delle variazioni del gradiente di gravità, si considerino 2 diversi percorsi fra 2 punti. Si ha un uguale valore di  $\Delta W$ , e quindi di  $\Delta h_{dm}$ , mentre sono diversi  $\Delta h$  e  $g'$ . Quindi

$$\Delta h_1 + \frac{1}{2} \frac{g'_1}{g_0} \Delta h_1^2 = \Delta h_2 + \frac{1}{2} \frac{g'_2}{g_0} \Delta h_2^2$$

Posto  $\Delta h_2 = \Delta h_1 + \delta h$  si ottiene

$$\delta h = \frac{1}{2g_0} [g'_2 \Delta h_1^2 - g'_1 (\Delta h_1 + \delta h)^2]$$

Da cui, trascurando i termini di ordine  $(\frac{\delta h}{\Delta h_1})^2$ , si ricava

$$\delta h \left(1 + \frac{g'_2 \Delta h_1}{g_0}\right) = \frac{1}{2g_0} (g'_1 - g'_2) \Delta h_1^2.$$

Per fare un esempio numerico, assumendo  $g'_1 - g'_2 \cong 0.02 \text{ mgal/m}$  per  $\Delta h_1 \cong 1000m$  si ottiene  $\delta h \cong 1cm$ .

### L'influenza degli errori di misura della gravità

Per valutare l'influenza degli errori di misura di  $g$  nel calcolo di  $\Delta W$ , si consideri la formula discretizzata  $\Delta W = \sum \bar{g}_i \Delta h_i$ , dove  $\bar{g}_i = \frac{g_i + g_{i+1}}{2}$ .

L'espressione dell'errore è

$$\delta \Delta W = \sum \delta \bar{g}_i \Delta h_i + \sum \bar{g}_i \delta \Delta h_i$$

Il primo addendo esprime il contributo degli errori sulle misure di gravità. La sua varianza è data da

$$E\left\{\left(\sum \delta \bar{g}_i \Delta h_i\right)^2\right\} = \sum \Delta h_i \Delta h_j E\{\delta \bar{g}_i \delta \bar{g}_j\}$$

Si assume che le misure di gravità siano statisticamente indipendenti e tutte con lo stesso  $\text{sqm}$   $\sigma(g)$ . Di conseguenza, data l'espressione di  $\bar{g}_i$ , si ha correlazione soltanto fra termini consecutivi della sommatoria.

In ultima analisi si ottiene

$$E\{(\sum \delta \bar{g}_i \Delta h_i)^2\} = \frac{1}{4} \sigma^2(g) (\sum \Delta h_i^2 + \sum \Delta h_i \Delta h_{i+1}).$$

Come si vede, il valore di questa grandezza è fortemente dipendente dal profilo altimetrico. Per fare un esempio di interesse per la presente discussione, si assuma un dislivello complessivo di 2000m suddiviso in 20 tratti di 100m ciascuno.

Ponendo  $\sigma(\rho) = 10$  mgal, si ottiene  $(E\{\sum \sigma(\rho_i) \Delta h_i\})^{1/2} \approx 4$  gal·m, corrispondenti in termini di dislivello a circa 4mm. Quindi non è necessario disporre di dati gravimetrici di elevata accuratezza per il calcolo delle differenze di geopotenziale.

Si è già visto che le quote della rete nazionale di livellazione di alta precisione sono ottenute per compensazione delle misure di livellazione senza tenere conto degli effetti gravimetrici, e che, d'altra parte, lungo gran parte delle linee di livellazione sono state eseguite misure di gravità negli anni '70 del '900.

Tuttavia, come si è già osservato, per alcune linee istituite dopo quella data le misure di gravità non sono disponibili, e fra queste ve ne sono alcune d'alta montagna che sono particolarmente significative per il presente studio. Si è quindi optato per l'uso di valori della gravità interpolati nei capisaldi di livellazione a partire dalla base di dati gravimetrici nazionale utilizzata anche per il calcolo delle diverse versioni del geoido gravimetrico ITALGEO.

Le incertezze rientrano pienamente nei limiti sopra illustrati, e anche il confronto con i valori misurati lungo linee dove essi sono disponibili mostra la piena accettabilità dell'uso di valori interpolati.

### Calcolo dei dislivelli geopotenziali nel poligono di Ivrea

Le principali caratteristiche dei dati altimetrici e gravimetrici lungo le linee del poligono di IVREA sono state descritte in precedenza. E' da notare che la quota varia da 245 metri del nodale 17 a 2616 metri nel punto n°84 della linea 155.

La procedura di calcolo utilizzata per il calcolo dei numeri geopotenziali è la seguente:

- si sono ordinate le linee di livellazione con riferimento sul nodale 17 a Ivrea;
- si è calcolato il valore della tolleranza sul poligono, che è pari a 3,15 cm relativa ad un percorso di circa 247 km
- si sono calcolati i dislivelli altimetrici progressivi, la cui somma algebrica è 6,987 cm, più del doppio del valore della tolleranza dichiarata;
- si sono calcolati i dislivelli geopotenziali progressivi tra punti successivi, la cui somma algebrica è di 2,347 cm.

Tale risultato ha portato alle seguenti considerazioni:

- la chiusura in dislivelli in geopotenziali evidenzia una migliore rappresentazione fisica del territorio, nel caso specifico lo scarto di chiusura si riduce a un terzo;
- le riduzioni degli scarti di chiusura a seguito delle correzioni per gravità lungo linee chiuse di livellazione dove competono notevoli variazioni di dislivello sono più significative di quelle ottenute lungo circuiti dove non competono notevoli variazioni di dislivello (per esempio nel poligono toscano si è valutato un miglioramento del 13% circa).

Sulla base dei dati in possesso si è cercato di stimare la variazione del gradiente di gravità lungo due tratti della linea AF e della linea 155 dove compete approssimativamente la stessa variazione di quota.

| Linea AF                     |               |                | Linea 155                    |               |                |
|------------------------------|---------------|----------------|------------------------------|---------------|----------------|
| Nome punto                   | Quota (metri) | Gravità (kgal) | Nome punto                   | Quota (metri) | Gravità (kgal) |
| Nodo 17                      | 245,41770     | 0,98066636     | Nodo 17                      | 245,41770     | 0,98066636     |
| Punto 128                    | 2158,51346    | 0,98010747     | Punto 75                     | 2093,43712    | 0,980102098    |
| Differenze                   | 1913,09576    | 0,00055889     | Differenze                   | 1848,01926    | 0,00056426     |
| $\Delta g/\Delta h$ (mgal/m) | <b>0,292</b>  |                | $\Delta g/\Delta h$ (mgal/m) | <b>0,305</b>  |                |

Questo risultato confermerebbe che l'andamento del gradiente di gravità nei due tratti è pressoché lo stesso, per cui l'esempio precedentemente citato assumendo un  $g'$  pari a 0.3mgal/m risulta descrivere correttamente quanto ipotizzato.

### Conclusioni

Da quanto esposto e verificato sui percorsi oggetto di studio, emerge che in generale la chiusura in termini geopotenziali risulta sia qualitativamente che quantitativamente migliore della chiusura in termini altimetrici.

Questo deriva dal fatto che la correzione gravimetrica, variando con la quota e tenendo conto delle masse interposte, riduce maggiormente le chiusure geopotenziali lungo poligoni dove si osservano notevoli variazioni di quota, come si è visto per il poligono di Ivrea.

In particolare emerge lo stretto legame tra il valore di gravità e la conformazione geologica dell'area d'interesse. Infatti la differenza in valore e segno delle anomalie di gravità permettono di identificare la presenza di strutture geologiche ad alta densità rispetto quelle presenti nella zona, che influenzerebbero nel caso specifico le operazioni di livellazione di alta precisione.

Pertanto essendo l'Italia un paese densamente montuoso soprattutto lungo l'arco alpino, ci proporremo di sperimentare la chiusura in termini geopotenziali lungo altri poligoni di confine della rete di livellazione di alta precisione italiana.

### Bibliografia

- [1] Baldi P., Barzaghi R., Sacerdote F., Sansò F. et alii, (1999), "*Sviluppi nella definizione del datum altimetrico*" atti della III conferenza ASITA – Napoli, 9-12 Novembre 1999.
- [2] Ihde J., Adam J., Gurtner W., et alii, (1997), "*The concept of the European Vertical GPS Reference Network (EUVN)*" Report of the Results of the European Vertical Reference Network GPS Campaign 1997.
- [3] Ihde J., Sacher M., Makinen J., "*European Vertical Reference System (EVRS) 2007 – a combination of UELN and ECGN*" Activities of the technical Working Group.
- [4] Ihde J., Adam J., Gurtner W., Harsson B. G., Sacher M., Schlüter W., Höppelmann G., "*The height solution of the European Vertical Reference Network (EUVN)*."
- [5] Kenyeres A., Sacher M., Ihde J., Denker H., Marti U., (1997), "*Status and results of the EUVN Densification Action*" Activities of the technical Working Group (TWG)/Status of the EUREF Permanent Network (EPN).
- [6] Maggi A. (2008) "*Integrated collocation for local geoid estimation*" - Doctoral thesis, Polytechnic of Milan.
- [7] Moritz H., Heiskanen W. A. (1967), "*Physical Geodesy*", W. H. Freeman and Company.
- [8] Muller G. (1986), "*Appunti di livellazione*", collezione testi didattici – Istituto Geografico Militare
- [9] Sacher M., Ihde J., Lang H., "*Status and results of the Adjustment and Enlargement of the United European Levelling Network 1995 (UELN – 95)*" Readjustment of the UELN and EVS-2000.
- [10] Sacher M., Ihde J., Makinen J., "*European Vertical Reference System (EVRS) 2007*" – a. Combination of UELN and ECGN.
- [11] Sacher M., Ihde J., Makinen J. (2009), "*EVRS2007 as realization of European Vertical Reference System*" – Bollettino di Geodesia e Scienze Affini, vol LXVIII, n.1.
- [12] Sacher M., Ihde J., Svensson R., "*Status of UELN and steps on the way to EVRS 2007*" European Vertical Reference System (EVRS) / Height Systems.
- [13] Salvioni G. (1953), "*Sulla correzione da apportare alle livellazione di precisione per il non parallelismo delle superfici equipotenziali*" Bollettino di Geodesia e Scienze Affini, vol XII, n.4.
- [14] Torge W. (1989), "*Gravimetry*". De Gruyter.



## **Integrazione di tecnologie e metodi partecipati per la tutela e la promozione del territorio: alcune esperienze made in Italy**

Andrea Giacomelli (\*), Francesco Giubbilini (\*\*),  
Luca Delucchi (\*\*\*), Stefano Costa (\*\*\*\*)

(\*) Attivarti.org, piazza del Popolo 20, loc. Torniella, Roccastrada (GR)

(\*\*) Misterecolight, Via Trento 20, Castiglioncello (LI)

(\*\*\*) GIS and Remote Sensing Unit, Genomics and Biology of Fruit Crops Department, IASMA Research and Innovation Centre, Fondazione Edmund Mach Via E. Mach 1, 38010 San Michele all'Adige, (TN)

(\*\*\*\*) Open Knowledge Foundation

### **Riassunto**

La presentazione illustrerà la storia di due progetti nati in Italia a partire dal 2007 e di cui i relatori sono stati ideatori e promotori assieme ad altri esperti. Si tratta del progetto M(')appare Milano (marzo-luglio 2008) e della BuioMetria Partecipativa, avviata nel febbraio 2008 e tuttora in corso. Entrambi i progetti rappresentano due esempi piuttosto originali di integrazione di tecnologie avanzate (web, GIS, sensori di vario tipo) e metodi di partecipazione, con il triplice intento di (1) sensibilizzare ampi segmenti di popolazione su tematiche di nicchia (la mappatura libera) o problemi relativamente poco noti (l'inquinamento luminoso), (2) di creare basi di dati di supporto al professionista dell'ambiente e (3) di proporre percorsi di promozione o valorizzazione del territorio in relazione alle tematiche trattate. M(')appare Milano ha costituito un'esperienza nel costruire una mappa di base secondo pratiche dal basso, e ha introdotto forme di localizzazione di pratiche concepite in un mondo anglosassone in Italiano (dal "mapping party" si è passati al "m(')appare"). La BuioMetria Partecipativa, nata in effetti in parallelo al primo progetto, è un approfondimento tematico su un problema ambientale relativamente poco noto. Ambedue i progetti hanno avuto un interessante riscontro scientifico (contribuendo ad attivare percorsi di ricerca e collaborazioni sia in Italia che all'estero), di applicazioni professionali, e di interesse mediatico per il grande pubblico.

La BuioMetria Partecipativa ha vinto un premio nazionale per la capacità di integrare aspetti di innovazione e sensibilizzazione ambientale. Con la presentazione si intende condividere alcuni spunti tecnici e alcune riflessioni su aspetti organizzativi e sociali legati ai due progetti, nonché documentare le attività svolte nel corso del 2011, in cui con la BuioMetria Partecipativa abbiamo programmato attività in circa venti località, in cinque stati europei e □ in Italia □ in cinque regioni.

### **Abstract**

The presentation provides a report about two projects created in Italy by the authors in 2008. The first is the M(')appare Milano project (March-July 2008). The second is the so called *BuioMetria Partecipativa* (participatory dark sky quality monitoring), started in February 2008 and currently active. Both projects represent original examples concerning the integration of advanced information and communication technologies (web, GIS, various sensors) and participatory methods, with three declared objectives: (1) awareness raising of wide segments of the population on relatively unknown issues such as free mapping or light pollution, (2) creation of databases supporting professional use or research (3) promotion and/or protection of the areas where the projects take place. M(')appare Milano represented an interesting experience in providing an alternative way to the main crowdsourcing model used in Italy in 2008. It also introduced forms of localisation in language related to free mapping (moving from concepts such as "mapping party" to "m(')appare"). Participatory Dark Sky Quality Monitoring, on the other hand, represents a thematic

specialisation on a relatively little know environmental issue such as light pollution. Both projects had a significant attention from the scientific standpoint, from the professional standpoint and, last but not least, from a media standpoint.

The Buiometria Partecipativa project also won a national prize for its capacity in the integration of technological innovation and environmental awareness raising. The presentation will share some technical issues, and will provide some thoughts on organisational and social aspects related to both projects. We will also provide an overview of our 2011 outreach program, with approximately 20 events in five European Countries.

### **Introduzione**

Il diffondersi di tecnologie a costo relativamente ridotto per l'acquisizione di dati, in parallelo al potenziarsi delle reti di comunicazione, ha determinato negli scorsi anni la nascita di numerosi progetti e iniziative centrate sul ruolo dei cittadini, delle persone, come creatori di dati, che possono poi essere condivisi attraverso strumenti informatici collaborativi. Tale contesto ha aperto possibilità notevoli e sinora inesplorate nel porre singole persone come produttori di informazioni, cui un GPS assegna un riferimento spaziale che ne consente l'integrazione immediata in ambito GIS.

In parallelo, lo stesso contesto ha posto tuttavia questioni nuove, il cui minimo comun denominatore può essere visto nella alla relazione fra soggetti storicamente deputati alla raccolta e alla gestione di dati geografici e alle comunità di persone che con le loro attività collaborative determinato il progresso e la manutenzione di basi di dati "partecipate".

Nel seguito daremo alcune informazioni su due esperienze specifiche che abbiamo avuto modo di vivere in prima persona, anche a livello di ideazione e di organizzazione.

### **M(')appare e M(')appare Milano**

Il progetto M(')appare Milano ha costituito nel 2008 un esempio assai significativo di sinergia fra comunità e competenze diverse nell'ambito dell'informazione geografica.

Lo spunto per il progetto nacque nell'ambito di una collaborazione fra GFOSS.it, l'Associazione per l'informazione geografica libera, e la comunità dei mappatori OpenStreetMap di Milano. OpenStreetMap ha rappresentato una svolta epocale nel settore dei progetti collaborativi (e probabilmente anche nel settore dei GIS), consentendo a chiunque possieda un GPS in grado di registrare tracce e abbia una conoscenza media di sistemi quali wikipedia di condividere informazioni geometriche e tematiche relative ai percorsi attraversati, e quindi di arrivare in prospettiva a creare una mappa libera del mondo (stante che il progetto prevede l'impiego di licenze libere). Su queste basi, in poco più di cinque anni il progetto è arrivato a contare oltre 300000 utenti in tutto il mondo, e i dati OpenStreetMap sono in molti casi utilizzati come valida alternativa a quelli di fornitori commerciali storici.

Una delle modalità tipiche di lavoro della comunità OpenStreetMap consiste nell'organizzare "mapping party", ovvero ritrovi in una località nei cui dintorni si abbia una zona poco o per nulla mappata, in cui vari attivisti si recano e passano una giornata fra attività di rilievo, attività di elaborazione dati, e momenti conviviali. Con questo metodo, all'attività quotidiana degli utenti più assidui si aggiungono momenti "concertati" su zone specifiche, che consentono di far progredire la mappa e, in alcuni casi, di coinvolgere qualche mappatore in più.

Il progetto M(')appare Milano, nato appunto per incentivare a completare la mappa del capoluogo lombardo, era incentrato su una serie di incontri strutturati come qualsiasi "mapping party", con la variabile che tutte le fasi dell'evento erano incastonate in un piano di comunicazione articolato, tra una trasmissione radiofonica avente come filo conduttore la mobilità nella zona metropolitana di Milano (Mente Locale, su Radio Popolare) e altre forme di diffusione sia via web che per le vie della città.

Il progetto si articolò attraverso quattro ritrovi di mappatura in quartieri diversi della città, e si chiuse con un incontro presso il Politecnico di Milano, che riconobbe l'originalità e l'importanza del lavoro svolto dalle realtà promotrici dell'evento.

Uno degli esiti misurabili del progetto è stato il livello di coinvolgimento attivo di categorie di persone nell'ambito di OpenStreetMap che tipicamente non si sarebbero mai avvicinate ad attività di questo tipo. Se, sino a quel momento, la popolazione mappante in Italia risultava composta quasi esclusivamente da informatici (con minore o maggiore esperienza in ambito GIS), nel corso di M(')appare Milano si sono visti comparire sociologi, architetti., antropologi, diversamente abili, assessori, tassisti, registi. Per quanto non tutti questi soggetti abbiamo poi continuato la loro attività come mappatori al di fuori degli incontri, nel seguirli anche dopo l'evento abbiamo potuto registrare come queste persone, nell'acquisire il ruolo di “rilevatori per un giorno” abbiano avuto modo, a prescindere dagli aspetti tecnicistici legati all'elaborazione dei dati, di riflettere sul loro rapporto con il territorio, o con il quartiere.

Lo stesso termine “m(')appare” fu molto gradito alla comunità OpenStreetMap, oltre che al pubblico più allargato, ed è stato poi ripreso per dare il titolo ad altri eventi di mappatura che si sono svolti in Italia nel corso del 2008 (Verona, Portofino, Ferrara, Parco dell'Antola).

### La Buimetria Partecipativa

Mentre M(')appare Milano affrontava le sue battute conclusive, prendeva avvio un altro progetto, per molti versi più ambizioso: il 9 giugno 2008, nel convegno “Cultura, ambiente, informatica libera: quali opportunità per il territorio dall'integrazione di tematiche differenti?” veniva presentata al pubblico la BuioMetria Partecipativa.

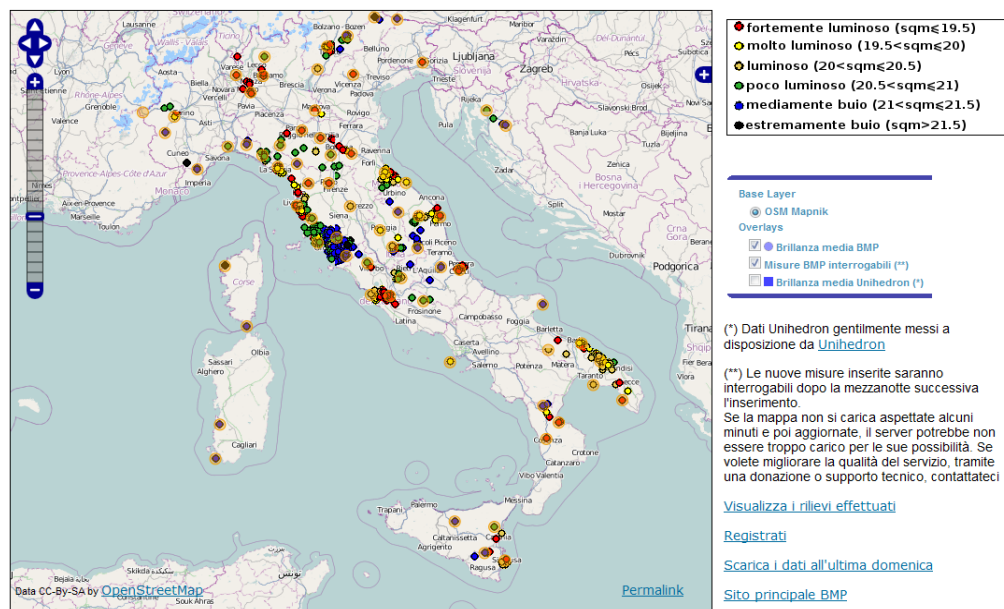


Figura 1 – Vista d'insieme delle misure di qualità del cielo notturno raccolte nell'ambito del progetto di BuioMetria Partecipativa a partire dal maggio 2008 (schermata dal sito [www.buiometriapartecipativa.org](http://www.buiometriapartecipativa.org)).

La BuioMetria Partecipativa fu proposta come un'iniziativa completamente nuova e riguardante la raccolta secondo modalità partecipate (come insito nel nome) di dati relativi all'inquinamento luminoso e alla qualità del cielo notturno. Si tratta di un problema relativamente poco noto, ma le cui conseguenze in termini di spreco energetico, e il cui impatto su salute umana, sicurezza e fauna (solo per citare le problematiche principali) sono estremamente significative (Giubbilini e Giacomelli, 2010). Nel seguito illustreremo vari aspetti del progetto BMP.

## Le tecnologie

Alla base del ciclo di vita dei dati BMP troviamo i sensori. Il principale sensore attualmente utilizzato nell'ambito del progetto BMP è il cosiddetto *sky quality meter* (ribattezzato appunto come “buiometro”). Si tratta di un sensore acquistabile sul mercato a prezzi contenuti e piuttosto diffuso in seno alle comunità interessate alla protezione del cielo notturno, in particolare tra gli astrofili.

Esistono anche altri sensori per la misurazione della qualità del cielo notturno. Ad esempio, il gruppo BMP sta sperimentando l'impiego di un sensore proposto sul mercato nel 2009, in occasione dell'anno internazionale dell'astronomia. Questo sensore è di utilizzo un poco più complesso dello SQM, e per questa ragione viene utilizzato prevalentemente da operatori professionali, quali gli osservatori astronomici. Altre misure quantitative possono essere acquisite tramite fotocamere a CCD.

Per quanto riguarda la parte software, il progetto BMP si appoggia a un sistema informativo costituito da soluzioni decisamente standard in ambito free/open source. Segnatamente si tratta di:

- ⤴ PostgreSQL con estensione GIS per l'archiviazione dei dati
- ⤴ UMN Mapserver per la pubblicazione delle mappe e dei servizi web relativi ai dati SQM
- ⤴ OpenLayers come client per l'interfaccia di visualizzazione web
- ⤴ PHP e Javascript per la personalizzazione delle pagine web
- ⤴ Apache web server
- ⤴ Debian come sistema operativo.

Il gruppo di lavoro BMP ha curato lo sviluppo di tutte le sezioni dell'applicazione relative al caricamento, alla gestione e al reporting delle misure di qualità del cielo notturno.

L'altra componente software utilizzata dal progetto BMP riguarda tutta la parte di comunicazione e divulgazione. Per questo vengono utilizzate soluzioni standard open-source, cui si affianca una presenza sui social media. Se ciò non può essere visto come un'eccezione nel panorama tecnologico odierno, è interessante sottolineare che nell'ambito del progetto BMP tutta la parte “virtuale” è strettamente subordinata a quella “fisica”, nel senso che la priorità viene data all'organizzazione e allo svolgimento di attività fuori dal web, per le quali il web svolge un ruolo di vetrina, e non è mai prevalente. Per dare un'idea di ciò, oltre allo svolgimento delle misure vere e proprie, in tre anni abbiamo organizzato oltre trenta eventi e incontri in varie parti d'Italia (e alcune all'estero).

E' interessante infine notare che, parlando di hardware nel contesto del progetto BMP non si fa riferimento esclusivamente a computer o sensori: abbiamo infatti sviluppato un kit per la calibrazione relativa dei nostri sensori, al fine di fornire elementi aggiuntivi per la determinazione della qualità dei dati, così come abbiamo costruito ausili didattici, quali un simulatore di inquinamento luminoso in cui si trova un “cielo artificiale” realizzato con 250 m di fibra ottica che, attraverso una serie di lampioni controllati da potenziometri consente di mostrare l'effetto di varie tipologie di lampade.

## Le licenze

Un aspetto caratterizzante del progetto BMP riguarda le licenze utilizzate per la pubblicazione dei dati: tutte le misure acquisite, sia tramite i sensori manuali, che tramite le stazioni fisse affiliate al CORDILIT sono infatti rilasciate sotto licenza *Open Database Licence* (ODBL).

La ODBL ( <http://www.opendatacommons.org/licenses/odbl/> ) è un contratto di licenza elaborato da *Open Knowledge Foundation* nell'ambito dell'iniziativa *Open Data Commons*, con l'intento di fornire un valido strumento per il licenziamento di banche dati, compatibile con il quadro normativo dell'Unione Europea riguardo ai diritti *sui generis* del costituente di una banca dati. La ODBL è una licenza di tipo “share-alike”. Tale licenza, analoga alla GNU GPL nell'ambito software, o a *Creative Commons Attribution - Share Alike* per le opere creative, permette il riutilizzo e la rielaborazione senza alcuna limitazione se non quella di riconoscere e citare la banca dati originale, e mantenere la stessa licenza anche per le banche dati derivate. Nel momento in cui si scrive, la ODBL è in corso di adozione da parte del progetto OpenStreetMap, a conferma dell'esistenza di un percorso comune tra

le diverse iniziative qui presentate. Oltre a rappresentare una adesione al movimento degli *open data*, l'adozione della ODBL riveste altresì una importanza cruciale nell'ottica di una iniziativa basata sui contributi di una comunità di utenti. Il mantenimento di una licenza “tutti i diritti riservati” (implicita in assenza di specificazioni) andrebbe a creare un circuito viziato in cui chi fornisce i dati li cede senza ottenere nulla in cambio, e di fatto il coordinamento del progetto verrebbe a ricoprire una posizione di preminenza e controllo inaccettabile, per quanto diffusa nel panorama generale del *crowdsourcing* (di cui possiamo affermare che la BMP rappresenti una declinazione particolare). Al contrario, l'adozione di una licenza *open data* costituisce una garanzia □ in primo luogo per chi contribuisce al progetto □ sulla continuativa disponibilità dei dati a favore dei partecipanti e del pubblico e sulla assenza di restrizioni al loro riutilizzo.

In linea con altri aspetti del progetto BMP, anche la scelta delle licenze d'uso si pone quindi al punto di incontro tra innovazione e partecipazione.

### **I processi**

Se M(')appare Milano ha consentito di rodare alcuni meccanismi di coinvolgimento di un pubblico allargato nell'utilizzo di un sensore (il GPS), la BuioMetria Partecipativa ha esteso tale approccio a un problema ambientale specifico, consentendo quindi di affrontare non solamente un'istanza generica del tipo “creiamo una mappa libera”, ma di raccogliere dati finalizzati alla sensibilizzazione e alla collaborazione alla soluzione di un problema tematico definito.

Data la estrema eterogeneità delle persone che si avvicinano al progetto BMP, è necessario difatti disporre di procedure e documenti estremamente chiari e tendenzialmente semplici (riservandosi ovviamente la possibilità di trattare qualsiasi aspetto del progetto a un livello più professionale nel momento in cui ci si trovi a interagire con controparti che già hanno una preparazione nel campo del monitoraggio ambientale.

### **Risultati**

Sia il progetto M(')appare Milano che la BuioMetria Partecipativa si sono innescati in condizioni simili, ovvero la coniugazione di una passione “scientifico-tecnologica” con una rete di persone allargata.

Se nel caso di M(')appare Milano le ipotesi di lavoro nel coinvolgimento di cittadini e specialisti erano state impostate in una modalità in certo qual modo sperimentale (ma comunque non casuale e con riscontri interessanti), la BuioMetria Partecipativa a permesso a tutti gli effetti di sviluppare tali ipotesi e tradurle in modalità operative che hanno consentito di sviluppare a livello nazionale un progetto. I numeri legati alle persone coinvolte e al volume di dati raccolti nel caso della BMP non è, ovviamente, paragonabile in termini quantitativi rispetto al progetto OpenStreetMap: a oggi hanno aderito al progetto BMP circa 70 persone, di cui circa 50 hanno eseguito misure, o con gli strumenti messi a disposizione dal progetto, o tramite altri strumenti in circolazione. Si tratta comunque di una rete di persone di assoluto rilievo, considerando anche il fatto che si tratta di un'attività più specializzata rispetto al semplice rilievo tramite GPS, e che il progetto BMP è (a oggi) autofinanziato.

### **Prossimi passi**

Al momento in cui scriviamo, la BuioMetria Partecipativa si trova ad aver superato il terzo anno di vita. Mentre le misure in modalità partecipativa proseguiranno, l'innovazione su cui abbiamo investito molto nel 2011, e puntiamo quindi a vedere consolidata nel 2012 è la costituzione del CORDILIT, il coordinamento italiano per la raccolta di dati sull'inquinamento luminoso. L'iniziativa vede la collaborazione del gruppo BMP con VenetoStellato (un'associazione che già da anni è attiva nella lotta all'inquinamento luminoso nella propria regione). Il CORDILIT articola le proprie attività anzitutto nella condivisione di dati derivanti da stazioni di monitoraggio in continuo, consentendo quindi di acquisire dati molto più ricchi rispetto a quelli manuali, sempre facendo riferimento alla Open Database Licence per la pubblicazione dei dati. Al fianco dei dati, troviamo

inoltre la possibilità di scambiare buone pratiche fra le varie stazioni attive, in modo da consentire lo sviluppo di una “super -rete” di monitoraggio che tuteli comunque i sistemi già esistenti.

In parallelo allo sviluppo di questa attività di rete a livello nazionale, abbiamo inoltre consolidato contatti con vari altri gruppi attivi su progetti simili in altri stati europei (Spagna, Germania, Regno Unito). Nella combinazione di varie strategie di misura, puntiamo a coinvolgere soggetti pubblici e privati interessati alla mitigazione dell'inquinamento luminoso e allo sviluppo di progetti di monitoraggio e ripristino di condizioni del cielo più favorevoli di quelle attuali. In questo senso, vediamo un percorso di crescita in cui modalità partecipate dal basso e modalità “strutturate” fra soggetti non individuali concorrono ad aumentare la consapevolezza su problemi ambientali e quindi facilitano la soluzione degli stessi.

### **Riferimenti bibliografici**

Giubbilini F, Giacomelli A, Visioni globali e azioni locali sull'inquinamento luminoso, *Gazzetta Ambiente*, n. 3, 2010

Giacomelli A, Costa S, Delucchi L, Malvicini F, Volunteered Geographic Information Experiences in Italy: an overview of 2008 and 2009, Atti dell'undicesimo GRASS Italian user meeting (Lugano), *Geomatics Workbooks* n. 9, 2010



## **Dal censimento dei consumi energetici all'attuazione del Patto dei Sindaci nei comuni della Provincia della Spezia con R3 EcoGIS**

Paola Giannarelli (\*), Paolo Viskanic (\*\*)

(\*) Provincia della Spezia, Via Vittorio Veneto 2, 19124 La Spezia, e-mail: provsp.giannarelli@provincia.sp.it

(\*\*) R3 GIS srl, Via J. Kravogl 2, 39012 Merano (BZ), e-mail: paolo.viskanic@r3-gis.com

### **Sommario**

La Provincia della Spezia ha assunto il ruolo di Struttura di supporto per i Comuni della propria Provincia che hanno aderito al “Patto dei sindaci”. A questo scopo la Provincia ha collaborato con i singoli comuni nella definizione della strategia comunale di riduzione delle emissioni. Per ogni comune è stata costruita una *base-line* dei consumi e delle emissioni di CO<sub>2</sub>, con un’analisi degli andamenti oltre che energetici anche legati agli assetti socio-economici del territorio.

Tutti questi dati sono poi stati inseriti nell'applicativo R3 EcoGIS, che consente ai singoli Comuni ed alla Provincia di analizzare e monitorare le emissioni di CO<sub>2</sub>, i consumi energetici, la produzione di energia da fonti rinnovabili e le azioni correttive, oltre ad ottemperare alle esigenze di monitoraggio e reportistica previste dal Patto dei Sindaci.

### **Introduzione**

L’attenzione internazionale ai temi legati all’ambiente è iniziata nel 1992 con la Conferenza internazionale di Rio sull’ambiente e lo sviluppo, dove oltre 150 paesi hanno riconosciuto firmando la convenzione sul clima l’importanza di modificare il proprio comportamento per evitare cambiamenti climatici globali. Questi temi sono stati ulteriormente discussi durante la conferenza di Kyoto del 1997, che è terminata con la sottoscrizione di un trattato internazionale, che impegna i paesi firmatari a contenere le emissioni di CO<sub>2</sub> entro il 95% delle emissioni all’anno 1990. Il trattato di Kyoto è stato rivisto varie volte fino ad entrare in vigore nel 2004, dopo essere stato firmato da un numero di paesi che corrisponda almeno al 55% delle emissioni.

A livello europeo, nel 2008 è stata lanciata un’iniziativa, per far fronte al consumo di energia in costante aumento nelle città, che oggi, è responsabile di oltre il 50% delle emissioni di gas serra causate, direttamente o indirettamente, dall’uso dell’energia da parte dell’uomo. Questa nuova azione, denominata il *Patto dei sindaci*, si pone come obiettivo entro il 2020 una riduzione delle emissioni di gas ad effetto serra, una maggiore efficienza energetica ed un maggiore utilizzo di fonti energetiche rinnovabili. Questa iniziativa, su base volontaria, impegna le città europee a predisporre un Piano di Azione con l’obiettivo di ridurre di oltre il 20% le proprie emissioni di gas serra attraverso politiche e misure locali che aumentino il ricorso alle fonti di energia rinnovabile, che migliorino l’efficienza energetica e attuino programmi ad hoc sul risparmio energetico e l’uso razionale dell’energia.

In Italia, ad oggi (settembre 2011), hanno aderito 1260 città al Patto dei Sindaci. I firmatari del Patto si impegnano a:

- Preparare un Inventario di Riferimento delle Emissioni (BEI) entro l’anno successivo a quello dell’adesione
- Presentare un Piano d’Azione per l’Energia Sostenibile (SEAP), approvato dal consiglio comunale entro l’anno successivo a quello dell’adesione
- Pubblicare regolarmente – ogni due anni dopo la presentazione dei loro SEAP – i resoconti dell’implementazione che indicano i progressi del piano d’azione e i risultati provvisori

- Promuovere le proprie attività e coinvolgere i propri cittadini/stakeholder, anche attraverso l'organizzazione regolare degli *Energy Day* locali
- Distribuire il messaggio del Patto dei Sindaci, in particolare incoraggiando le altre autorità locali ad aderire e dando un contributo ai maggiori eventi e ai *workshop* tematici.

La Provincia di La Spezia è stata riconosciuta da parte dell'Unione Europea "Struttura di supporto" locale del Patto dei Sindaci ed in tale veste fornisce sostegno ai 30 Comuni che lo hanno sottoscritto. Ad oggi tutti i comuni aderenti della Provincia hanno prodotto il proprio Bilancio consumi/emissioni ed il proprio Piano d'Azione per l'Energia Sostenibile, la maggior parte dei quali, come indicato dalla Comunità Europea, lo hanno già approvato in Consiglio Comunale.

I dati ottenuti dai Piani d'Azione per l'Energia Sostenibile, con particolare riferimento alle tabelle riassuntive fornite alla Commissione Europea relativamente alla "strategia generale", "all'inventario delle emissioni", e al "monitoraggio della realizzazione delle azioni", sono stati inseriti in un database informatico "Audit GIS", mirato a creare un catasto *online* delle informazioni raccolte.

### **R3 EcoGIS, un WebGIS per il monitoraggio dei consumi e delle emissioni**

R3 EcoGIS è uno strumento *WebGIS*, sviluppato in varie fasi, per venire incontro alle amministrazioni particolarmente sensibili sulle tematiche legate alle emissioni di CO<sub>2</sub> e del risparmio energetico.

Una prima versione sviluppata nel 2006 consentiva di valutare le caratteristiche costruttive ed i consumi degli edifici pubblici dei Comuni. La parte privata consentiva agli utenti registrati (i comuni ed i loro consulenti) di inserire e gestire i dati relativi agli edifici del proprio territorio. Per ciascun immobile analizzato era possibile infatti visualizzare una scheda con le seguenti categorie di informazioni:

- Anagrafica e destinazione d'uso dell'edificio;
- Caratteristiche tipologiche e costruttive;
- Descrizione degli impianti termici ed elettrici presenti e relativi consumi basati su una indagine di tre anni;
- Immagini e foto raccolte nei sopralluoghi.

Per alcuni edifici di particolare importanza era possibile gestire un'indagine più approfondita o "Audit di dettaglio" che contiene, oltre alle precedenti, anche le seguenti integrazioni:

- Proposta e descrizione di interventi gestionali ed impiantistici per il risparmio energetico e la riduzione della CO<sub>2</sub>;
- Costi e benefici connessi agli interventi;
- Tempi di ritorno degli investimenti.

Questa versione di R3 EcoGIS è stata adottata da alcuni comuni dell'Alto Adige, da Fondazione Cariplo per i 650 Comuni aderenti al progetto Audit GIS e della Provincia della Spezia.

Successivamente R3 EcoGIS è stato ampliato per gestire non solo i consumi degli edifici pubblici, ma per amministrare in modo semplice e completo le varie informazioni sui consumi energetici e le emissioni di CO<sub>2</sub> di immobili, industria, terziario, traffico ed altre fonti di emissione a livello comunale. Lo sviluppo è stato co-finanziato da un contributo del Programma regionale ed occupazione FESR 2007-2013. L'obiettivo di R3 EcoGIS 2.0 è quello di fornire ai comuni che hanno aderito al Patto dei Sindaci o che comunque intendono definire una strategia di sviluppo rispettosa dell'ambiente, uno strumento semplice ed efficace per gestire i dati e simulare e valutare diversi scenari di sviluppo. Il *software* R3 EcoGIS è in continua evoluzione, sulla base delle esigenze e dei consigli che provengono da parte dei comuni e dei consulenti che lo utilizzano, delle normative ambientali e le esigenze del Patto dei Sindaci. Uno schema dell'applicativo è riportato in Figura 1.

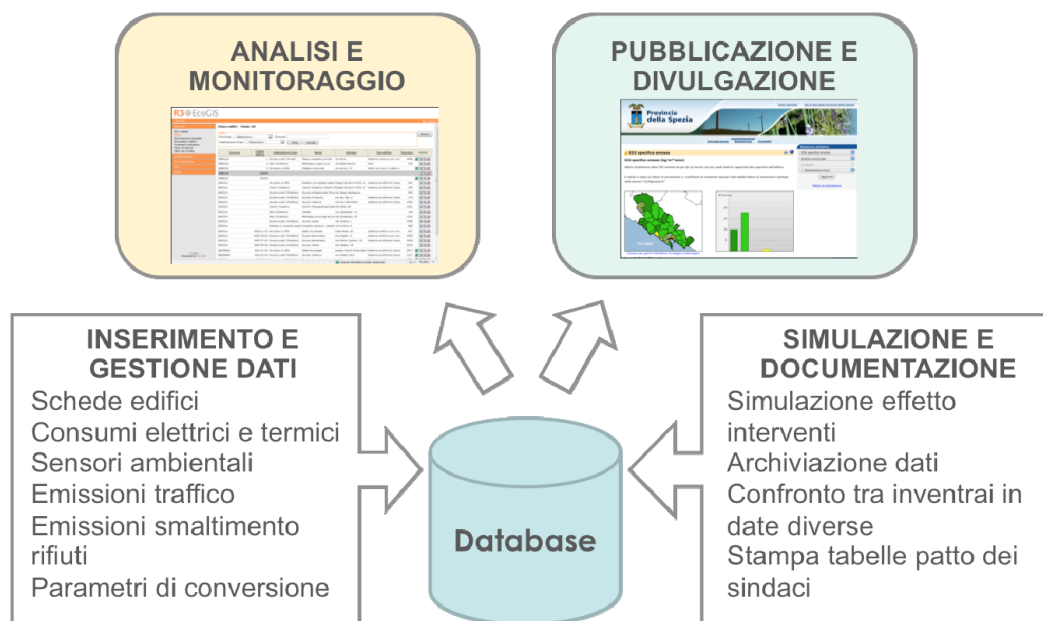


Figura 1 – Architettura dell'applicativo R3 EcoGIS con varie funzionalità disponibili.

### R3 EcoGIS – aspetti tecnici

R3 EcoGIS si basa su una banca dati PostgreSQL/PostGIS, nella quale vengono gestite tutte le informazioni relative alle varie fonti di emissioni di gas serra, quali edifici pubblici e privati, edifici industriali e terziario, illuminazione pubblica, traffico privato e pubblico, impianti di depurazione delle acque e di smaltimento dei rifiuti, aziende agricole, ecc. La classificazione di tutti questi componenti segue la metodologia per il censimento delle emissioni rilasciata dal Patto dei Sindaci ed R3 EcoGIS consente l'esportazione dei dati nei formati da esso previsti.

Una volta eseguito l'inserimento dei dati sui consumi energetici il *software* calcola le emissioni di CO<sub>2</sub>, applicando dei fattori di conversione configurabili, che tengono conto dell'eventuale produzione di energia da fonti rinnovabili sul territorio comunale. Inoltre le fonti di emissioni possono essere georiferite con semplici strumenti di selezione e/o disegno su mappa. L'integrazione con centraline di rilevamento dati e di telecontrollo permette di automatizzare la raccolta dei dati ambientali o dei consumi e di controllare da remoto centrali energetiche.

R3 EcoGIS permette inoltre di gestire un catalogo di interventi su edifici, traffico, industria, terziario, agricoltura e di definire per ogni intervento le date di realizzazione e la relativa durata, i costi di implementazione, l'effetto sul consumo energetico e sulle emissioni e la posizione dell'intervento su mappa. Tramite una funzione di simulazione è possibile combinare azioni diverse e valutarne l'impatto sul territorio, sia in termini di consumi che in termini di CO<sub>2</sub> evitata e costi per la realizzazione, da qui al 2020. Confrontando simulazioni diverse è quindi possibile valutare diversi piani d'azione e scegliere quello più adatto alle esigenze e risorse del Comune.

Ultimo aspetto da non sottovalutare è la pubblicazione dei dati su consumi, emissioni e azioni realizzate dal comune su un portale pubblico. Tramite strumenti *WebGIS* semplicemente consultabili è possibile condividere queste informazioni con i cittadini e documentare le iniziative dell'amministrazione per l'abbattimento delle emissioni.

## Il censimento energetico dei comuni della Provincia della Spezia con R3 EcoGIS

Il Progetto Audit Gis nasce tra il 2006 ed il 2008 nell'ambito di un Bando della Fondazione Cariplo di Milano con l'obiettivo di favorire la cultura del risparmio energetico attraverso la pratica di audit energetico sugli edifici dei comuni piccoli e medi delle province lombarde, di Novara e di Verbania-Cusio-Ossola. Il progetto ha coinvolto nei tre anni di bando più di 650 comuni (vedi figura 3) ed ha portato alla raccolta di quasi 7000 diagnosi energetiche complessive composte da audit cosiddetti "leggeri" e audit di "dettaglio". Tutti i dati contenuti in questi audit sono inseriti in un applicativo gestionale basato su tecnologia *WebGIS* dedicato.

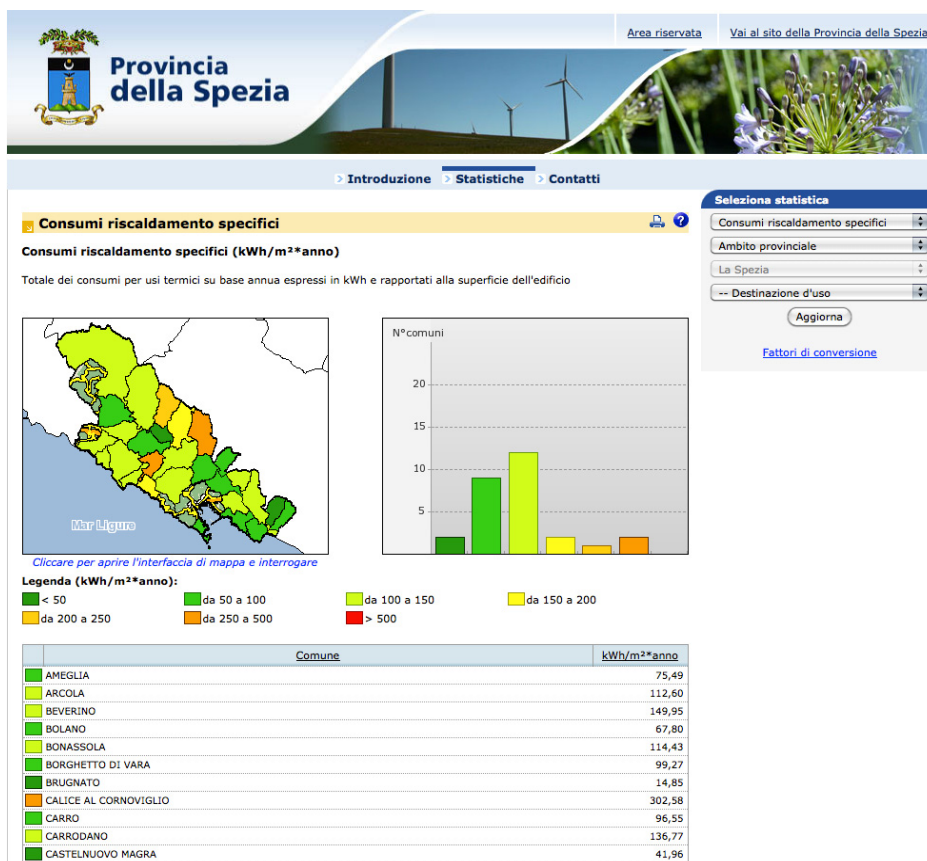


Figura 2 – Portale pubblico per la visualizzazione e l'analisi dei consumi energetici degli edifici pubblici dei comuni della Provincia della Spezia.

Anche la Provincia della Spezia ha aderito al progetto Audit GIS, raccogliendo ed inserendo sulla piattaforma R3 EcoGIS i dati di consumo energetico dei 30 Comuni interessati. La situazione emersa dall'analisi dei consumi energetici dei singoli comuni della Provincia è quella tipica dei comuni di medio-piccole dimensioni in cui i consumi risultano prevalentemente ascrivibili al settore residenziale. In media il settore residenziale attesta un consumo che incide per più della metà sul bilancio complessivo comunale.

Emerge inoltre che il patrimonio immobiliare pubblico dei Comuni della Provincia della Spezia, in gran parte edificato (oltre il 63% del totale esaminato) prima del 1976, anno dell'entrata in vigore

della legge 373, manifesta evidenti carenze di tipo prestazionale-energetico su cui è necessario intervenire.

Per ridurre le emissioni derivanti dalle abitazioni, è stato realizzato un censimento energetico di tutti gli edifici pubblici Comunali, i cui dati inseriti nel database informatico, hanno contribuito ad implementare e integrare le informazioni ottenute nei Piani d'Azione per l'Energia Sostenibile.

L'iniziativa, attuata tramite il metodo dell'Audit energetico, ha permesso di ottenere un quadro generale dello stato di salute degli edifici censiti. Elaborando i dati inseriti, il software R3 EcoGIS ha prodotto statistiche sia a livello provinciale che comunale su:

- ✓ tipologia costruttiva edificio;
- ✓ destinazione d'uso;
- ✓ Classe energetica;
- ✓ CO<sub>2</sub> specifica emessa;
- ✓ consumi riscaldamento;
- ✓ consumi riscaldamento specifici;
- ✓ consumi elettrici;
- ✓ consumi elettrici specifici;
- ✓ consumi totali.

Per ciascuna statistica sono disponibili un filtro di interrogazione che consente di scegliere l'ambito territoriale di riferimento, una tabella dati (esportabile su foglio di calcolo), un grafico esplicativo ed una mappa rappresentativa dell'area. Mappe e grafici sono interattivi, per cui cliccando sulla cartina si aprirà una finestra di mappa con i dati della statistica prescelta. Una volta aperta la finestra di mappa, la statistica e l'ambito territoriale saranno configurabili direttamente su mappa, oltre che attraverso le normali funzioni di navigazione. Inoltre, a livello comunale, è possibile aprire la scheda di dettaglio di ogni edificio cliccando sulla mappa.

### **Conclusioni**

Le tecnologie alla base dello sfruttamento delle fonti di energia rinnovabili, dell'efficienza energetica e del monitoraggio delle emissioni, come anche la legislazione di riferimento sono in continua evoluzione. Pertanto R3 EcoGIS è da considerarsi un cantiere in corso. Ad oggi 700 comuni hanno adottato la prima versione per il monitoraggio degli edifici pubblici ed un centinaio di Comuni hanno adottato la versione 2.0 con la documentazione e gestione di tutti i dati relativi al patto dei Sindaci. Grazie ai comuni che l'hanno adottato ed alla collaborazione con enti di ricerca e professionisti del settore, le funzionalità, gli algoritmi di calcolo, la tecnologia GIS sulla quale si basa vengono aggiornati e perfezionati continuamente. L'obiettivo è quello di ottenere uno strumento per il *management* energetico a livello territoriale, che consenta di supportare gli amministratori nelle decisioni a medio e lungo termine per migliorare l'efficienza energetica delle nostre città.

## Visualizza piano di azione

Comune: Bonassola  
 Titolo: PAES Comune di Bonassola Data approvazione: 29/04/2011  
 Ente approvatore: Comune di Bonassola  
 Indirizzo sito pubblico: <http://www.eumayors.eu>

| Settori                                                       | Azioni principali                                                                                              | Responsabile                                                                | Attuazione            | Costi stimati [€] | Risparmio energetico previsto [MWh/a] | Produzione di energia rinnovabile prevista [MWh/a] | Riduzione di CO2 prevista [t/a] | Obiettivo di risparmio energetico [MWh] nel 2020 | Obiettivo di produzione locale di energia rinnovabile [MWh] nel 2020 |
|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| <b>Edifici, servizi e industrie</b>                           |                                                                                                                |                                                                             |                       |                   |                                       |                                                    |                                 | 801                                              |                                                                      |
| <b>Edifici, attrezzature/impianti comunali</b>                | Altro - Riqualificazione energetica dei sistemi di illuminazione presenti negli edifici pubblici               | Comune di Bonassola                                                         | 01/01/2011 31/12/2014 |                   |                                       |                                                    |                                 |                                                  |                                                                      |
|                                                               | Audit energetico - Audit energetici negli edifici comunali                                                     | Provincia di La Spezia e ACAM con il supporto dell'ufficio tecnico comunale | 01/01/2011            |                   |                                       |                                                    |                                 |                                                  |                                                                      |
| <b>Edifici, attrezzature/impianti terziari (non comunali)</b> |                                                                                                                |                                                                             |                       |                   |                                       |                                                    |                                 |                                                  |                                                                      |
| <b>Edifici residenziali</b>                                   | Altro - Attività di riqualificazione edilizia sulla base dei requisiti descritti nel Nuovo Allegato Energetico | Privati con il supporto dell'ufficio tecnico comunale                       | 01/01/2011 31/12/2020 |                   | 506                                   |                                                    | 103                             |                                                  |                                                                      |
|                                                               | Altro - Implementazione di impianti di riscaldamento a biomassa                                                | Privati con il supporto dell'ufficio tecnico comunale                       | 01/01/2010 31/12/2020 |                   |                                       | 478                                                | 118                             |                                                  |                                                                      |
|                                                               | Altro - Implementazione di impianti solari termici                                                             | Privati con il supporto dell'ufficio tecnico comunale                       | 01/01/2010 31/12/2020 |                   |                                       | 169                                                | 34                              |                                                  |                                                                      |
|                                                               | Altro - Sostituzione di apparecchiature elettriche                                                             | Privati con il supporto dell'ufficio tecnico comunale                       | 01/01/2011 31/12/2020 |                   | 295                                   |                                                    | 141                             |                                                  |                                                                      |
| <b>Illuminazione pubblica comunale</b>                        | Altro - Sostituzione con lampade a basso consumo energetico                                                    | Comune di Bonassola                                                         | 01/01/2013 31/12/2015 |                   |                                       |                                                    |                                 |                                                  |                                                                      |
|                                                               | Altro - Sostituzione lampade a vapori di mercurio nel sistema di illuminazione pubblica comunale               | Comune di Bonassola                                                         | 01/01/2012 31/12/2015 |                   |                                       |                                                    |                                 |                                                  |                                                                      |
| <b>Industrie (escluse le industrie)</b>                       |                                                                                                                |                                                                             |                       |                   |                                       |                                                    |                                 |                                                  |                                                                      |

Figura 3 – Piano d'azione di un comune della Provincia della Spezia gestito in R3 EcoGIS.

## Riferimenti bibliografici

1. Sito del Patto dei Sindaci: <http://www.eumayors.eu/>
2. Sito EcoGIS: [www.ecogis.info](http://www.ecogis.info)
3. Viskanic Paolo, Franceschi S., Tulumello C., Überbacher D., Il portale sulle energie rinnovabili della città di Laives. Mondogis Nr. 61/2007, pag. 50-55.
4. EcoGIS una piattaforma per il monitoraggio delle emissioni. Paolo Viskanic, Sergio Segala, Bruno Montali, Dietmar Überbacher, Rupert Rossanelli, Atti Asita 2010.
5. Sito Audit GIS Fondazione Cariplo: [www.auditgis.fondazionecariplo.it](http://www.auditgis.fondazionecariplo.it)
6. Sito Audit GIS Provincia della Spezia: [ecogis.provincia.sp.it/](http://ecogis.provincia.sp.it/)



## **Fusione di dati cosmo-skymed e geoeye-1 per la classificazione del land cover nella laguna di venezia**

Marco Gianinetto (\*), Marco Rusmini, Francesco Rota Nodari, Gabriele Candiani,  
Federico Frassy, Andrea Marchesi, Pieralberto Maianti, Giovanmaria Lechi

Laboratorio di Remote Sensing (L@RS), Politecnico di Milano, Dipartimento di Scienza e Tecnologie  
dell'Ambiente Costruito (BEST), Ponzio 31, 20133 Milano (Italy)

(\*) E-mail: marco.gianinetto@polimi.it

### **Riassunto**

Il presente studio si inquadra nel Programma di ricerca “The demonstration of the COSMO-SkyMed capabilities and exploitation for science and civilian applications” dell’Agenzia Spaziale Italiana e ha lo scopo di dimostrare le potenzialità dell’utilizzo congiunto di dati ottici multispettrali e SAR in banda X ad alta risoluzione geometrica per la classificazione del *land-cover/land-use*. Un primo test di classificazione tematica con dati GeoEye-1 e COSMO-SkyMed è stato realizzato nella zona litoranea circostante la città di Venezia, scelta per la presenza di un *land-cover* ricco e unico nel suo genere. Il confronto tra le classificazioni pixel-based e object-based mostrano che come la seconda dia sempre risultati più accurati. Inoltre, l’aggiunta del dato radar a quello ottico è influente nel caso della classificazione pixel-based (si passa da una Overall Accuracy di 68,4% a 69,4%) mentre produce un incremento di accuratezza di circa il 15% nel caso dell’OBIA (si passa da una Overall Accuracy di 73,0% a 88,8%).

### **Abstract**

This paper describes a study carried on in the framework of the research project “The demonstration of the COSMO-SkyMed capabilities and exploitation for science and civilian applications” of the Italian Space Agency and is aimed to demonstrate the potentialities of the joint use of multispectral and SAR high-resolution data for land-cover/land-use mapping. A first classification test with GeoEye-1 and COSMO-SkyMed was realized in the littoral area nearby the city of Venezia, choosen as test site for its rich and one of a kind. The comparison between the thematic maps obtained with pixel-based and object-based approaches shows a higher accuracy of the latter. Moreover, the addition of the radar data to the optical data is non-influential for the pixel-based approach (the Overall Accuracy passes from 68,4% to 69,4%) while it is valuable for the OBIA approach and lead to an increase in the classification accuracy of about 15% (the Overall Accuracy passes from 73,0% to 88,8%).

### **1. Introduzione**

La produzione di mappe tematiche di *land-cover/land-use* (LCLU) rappresenta uno dei prodotti tipici del Telerilevamento ottico. Nel dominio delle microonde, molteplici studi hanno dimostrato la possibilità di quantificare parametri geofisici e biofisici quali la rugosità superficiale, la struttura della canopy, la presenza di umidità nel terreno e nella vegetazione (Dobson *et al.*, 1995; Jones *et al.*, 2011), oppure di quantificare parametri come l'emissività (He e Chen, 2009; Zhang *et al.*, 2010) o il legame tra *land-cover* e misure radar (Becker e Choudhury, 1988; Lakhankar *et al.*, 2009), tutte informazioni utili e complementari a quelle fornite dai sensori ottici. Per quanto concerne la classificazione tematica dei dati radar ai fini cartografici, la questione è più complessa. Un

approccio classico è quello del clustering operato su composizioni in colori falsi di parametri quali backscatter e coerenza (Nizalapur *et al.*, 2011). Alcuni autori hanno anche proposto l'utilizzo di classificatori per segmentare in modo automatico o supervisionato dati SAR, ma i risultati sono spesso di non semplice interpretazione al di fuori della mappatura delle aree urbane (Dobson *et al.*, 1996; Mejail *et al.*, 2003; Tison *et al.*, 2004; Picco e Palacio, 2011).

Sul fronte della *data fusion*, nelle ultime due decadi l'interesse si è prevalentemente concentrato nella fusione tra dati ottici multispettrali e pancromatici per il miglioramento della risoluzione spaziale dei primi e nella fusione tra dati ottici e radar per l'integrazione nello stesso layer tematico di informazioni di diversa natura (Gamba *et al.*, 2005; Amolins *et al.*, 2007). Con l'avvento di nuovi sensori spaziali sempre più performanti in termini di risoluzione spaziale, le tecniche di *data fusion* hanno acquistato un rinnovato interesse nella produzione di cartografia tematica multi-sorgente e con la recente disponibilità di dati SAR in banda X ad alta risoluzione geometrica, quali TerraSAR-X e COSMO-SkyMed (CSK®), l'uso sinergico di dati ottici e radar per la classificazione tematica del territorio è tornato ad essere un tema di primario interesse (Ehlers, 1991; Pohl e Van Genderen, 1998; Simone *et al.*, 2002).

La letteratura sulla fusione di dati ripresi con tecnologia ottica e radar riguarda quasi esclusivamente la media risoluzione geometrica, dove vengono riportati miglioramenti nella classificazione tematica nell'ordine del 5%-10% rispetto all'utilizzo del solo dato ottico (McNairn *et al.*, 2009; Huang *et al.*, 2010). Molto pochi sono invece gli studi di *data fusion* con dati ad alta risoluzione geometrica (Amarsaikhan, 2010). In merito alle tecniche di classificazione utilizzate per dati misti ottico-radar, la maggioranza degli studi fanno riferimento algoritmi pixel-based (Lu *et al.*, 2007; Castañeda e Ducrot, 2009; Colditz *et al.*, 2006). Una nuova frontiera per l'integrazione e classificazione di dati misti è l'utilizzo dell'Object Based Image Analysis (OBIA – Blaschke, 2010) che permette di sfruttare non solo le caratteristiche spettrali e radiometriche, tipiche dell'approccio pixel-based, ma anche le proprietà semantiche degli oggetti da classificare. Inoltre, l'OBIA si rivela particolarmente performante nei confronti del tecniche pixel-based con dati ad alta risoluzione geometrica (Connors *et al.*, 1984; Bignami *et al.*, 2004; Zhou *et al.*, 2008; Zhou *et al.*, 2009) e permette di integrare dati di diversa natura.

Il presente studio si inquadra nel Programma di ricerca “The demonstration of the COSMO-SkyMed capabilities and exploitation for science and civilian applications” dell'Agenzia Spaziale Italiana e ha lo scopo di dimostrare le potenzialità dell'utilizzo congiunto di dati ottici multispettrali e SAR in banda X ad alta risoluzione geometrica per la classificazione del *land-cover/land-use*. L'obiettivo principale è analizzare i contributi apportati alla classificazione pixel-based e object-based dall'integrazione di dati ottici e SAR ad alta risoluzione.

## 2. Area di studio

L'area di studio è rappresentata dalla zona litoranea circostante la città di Venezia, scelta per la presenza di un *land-cover* ricco e unico nel suo genere, composto da paludi e canneti, canali, insediamenti urbani, industriali e aree agricole. La Laguna è caratterizzata al tempo stesso da una elevata macro-variabilità e micro-variabilità nel tessuto del suo territorio e da una complessa dinamica ambientale, che ne fanno un caso di studio complicato e interessante per valutare le potenzialità dell'utilizzo sinergico di dati ottici e radar per applicazioni di classificazione tematica. Inoltre, nel 2000 la zona litoranea è stata inserita tra i siti di importanza comunitaria per il suo valore naturalistico (direttiva EEC “Habitat” 92/43/CEE) e nel 2007 l'aeroporto di Nicelli è divenuto poligono di calibrazione radar in seguito all'installazione di corner reflector, costantemente monitorati nel tempo, nell'ambito di attività finanziate dal Magistrato alle Acque di Venezia e da Consorzio Venezia Nuova.

L'area test utilizzata nel presente studio è una porzione a nord-ovest della città di Venezia, in prossimità dell'aeroporto Marco Polo, dove il territorio presenta una interessante mescolanza di aree agricole e urbanizzate (Figura 1).



Figura 1 – Localizzazione dell'area test.

### 3. Dati e pre-processing

I dati utilizzati per lo studio sono composti da:

- una scena GeoEye-1 del 12 Febbraio 2009, ripresa con angolo di elevazione pari a  $72^{\circ}.349$  e risoluzione nominale pari a 0.43m in pancromatico e 1.72m in multispettrale;
- una scena COSMO-SkyMed Stripmap, passaggio ascendente del 27 Marzo 2010, ripresa in polarizzazione HH;

Le immagini GeoEye-1 sono state calibrate e georeferenziate mentre i dati COSMO-SkyMed sono stati focalizzati, co-registrati al GeoEye-1 e i valori di ampiezza sono stati equalizzati finemente (Ferretti *et al.*, 2011). Prima dell'utilizzo in classificazione tematica, i valori di backscatter CSK® sono stati pre-processati mediante trasformazione logaritmica e clipping per comprimere i valori estremi del segnale relativi prevalentemente all'urbanizzato (valori estremi superiori - spekle) e all'acqua (valori estremi inferiori). La soglia è stata fissata sulla base di un'analisi di sensitività condotta per ciascuna tipologia di *land-cover/land-use* presente nell'area test (Figura 2).

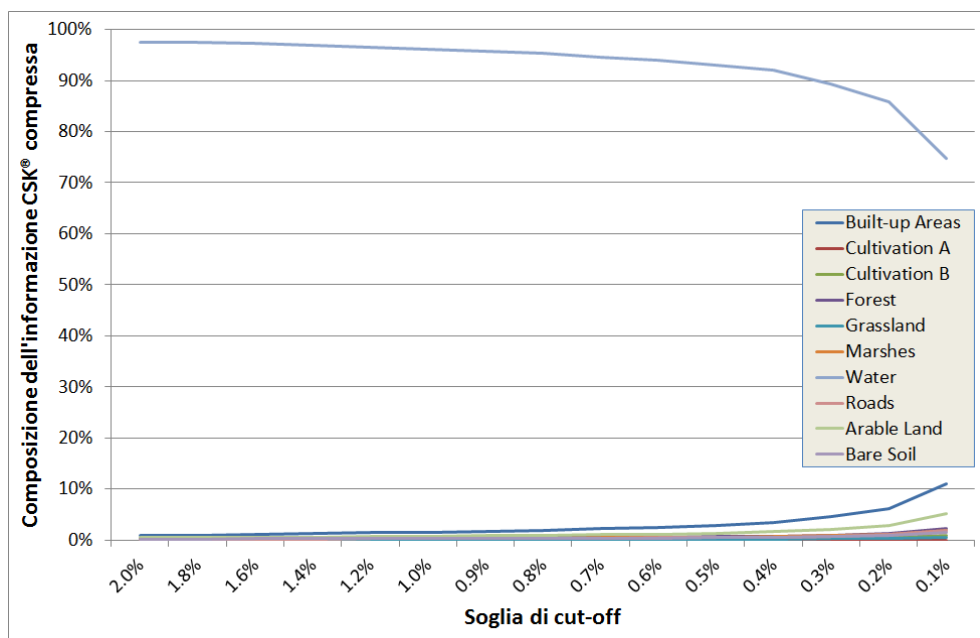


Figura 2 – Composizione dell'informazione CSK® compressa al variare della soglia di cut-off: valori estremi inferiori.

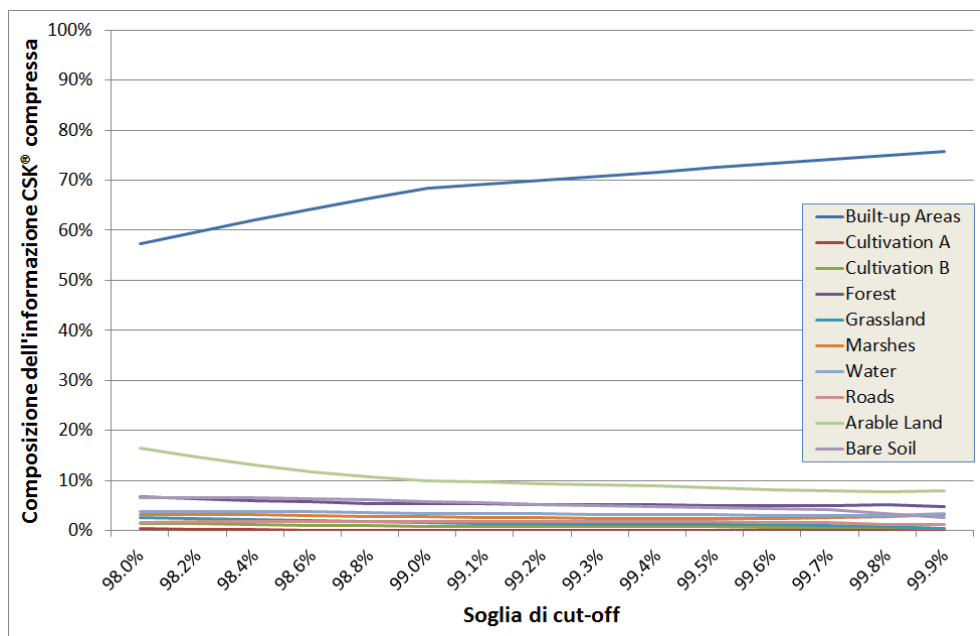


Figura 3 – Composizione dell'informazione CSK® compressa al variare della soglia di cut-off: valori estremi superiori.

#### 4. Data fusion e classificazione tematica pixel-based

La fusione mira a unire nello stesso layer informazioni di diversa natura. Tra le possibili tecniche utilizzabili in questo studio l'integrazione è stata ottenuta mediante la Discrete Wavelet Transform (DWT) secondo un modello pesato applicato durante la trasformazione DWT inversa (Canty, 2009; Almolins *et al.*, 2007) come descritto dall'Equazione 1. La Figura 4 mostra il risultato dell'operazione.

$$C^Z_{Opt} = a^Z * C^Z_{SAR} + b^Z \text{ per } Z = D, V \text{ e } H \quad [1]$$

dove:

$C^Z_{SAR}$  è l'immagine COSMO-SkyMed;

$a^Z$  è la media del dato GeoEye-1;

$b^Z$  la deviazione standard del dato COSMO-SkyMed;

D, V e H sono rispettivamente le direzioni diagonale, verticale e orizzontale.

$C^Z_{Opt}$  è l'immagine fusa;

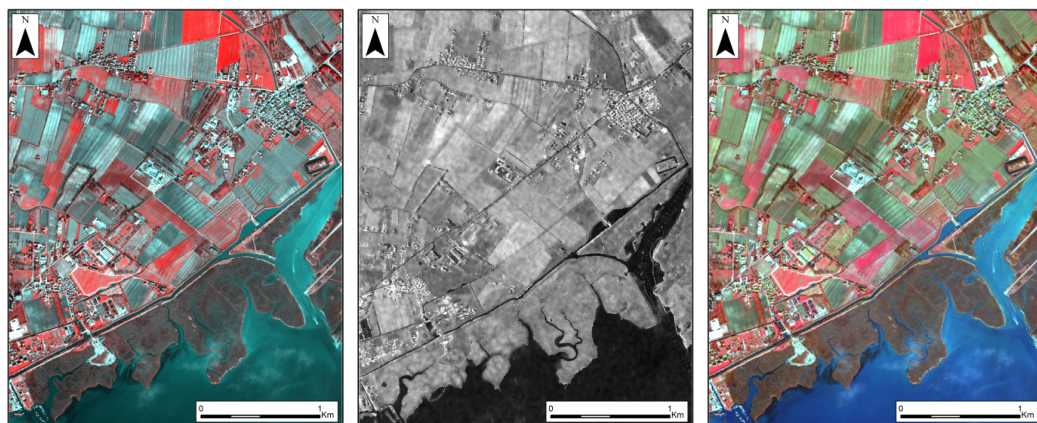


Figura 4 – Fusione pixel-based dei dati ottici e radar con tecnica discret wavelet: (sinistra) GeoEye-1 IRFC. Prodotto GeoEye-1; 2009; Distribuito da e-GEOS. Tutti i diritti riservati; (centro) ampiezze COSMO-SkyMed. Prodotto COSMO-SkyMed - ©ASI - Agenzia Spaziale Italiana - (2010). Tutti i diritti riservati; (destra) dato fuso GeoEye-1 e COSMO-SkyMed. Prodotto elaborato da L@RS - Politecnico di Milano; Prodotto originale ©GeoEye-1; 2009; Distribuito da e-GEOS. Prodotto originale COSMO-SkyMed - ©ASI - Agenzia Spaziale Italiana - (2010).

Per la classificazione tematica pixel-based è stato utilizzato il consolidato algoritmo Maximum Likelihood (ML) usando dieci classi di *land-cover*. La Figura 5 mostra il risultato della classificazione con il solo dato ottico GeoEye-1 e con il dato fuso DWT GeoEye-1/COSMO-SkyMed.



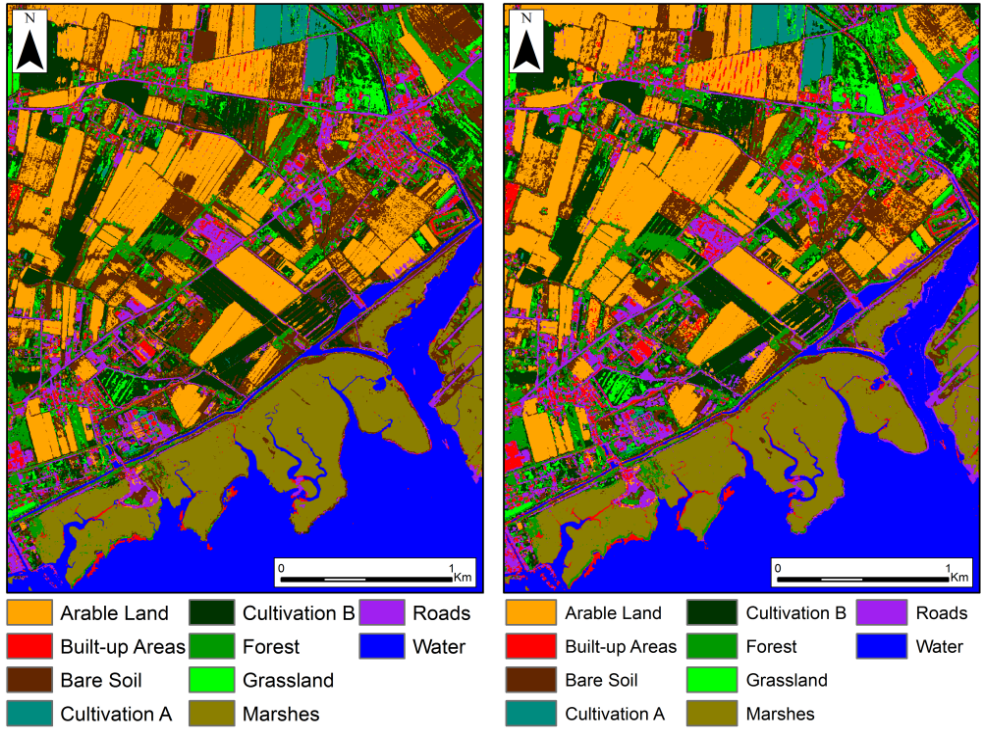


Figura 5 – Classificazione tematica pixel-based Maximum Likelihood: (sinistra) mappa tematica prodotta dal solo dato GeoEye-1; (destra) mappa tematica prodotta dal dato fuso DWT GeoEye-1/COSMO-SkyMed. Prodotto elaborato da L@RS - Politecnico di Milano; Prodotto originale ©GeoEye-1; 2009; Distribuito da e-GEOS. Prodotto originale COSMO-SkyMed - ©ASI - Agenzia Spaziale Italiana - (2010).

## 5. Integrazione dei dati e classificazione tematica OBIA

Alcuni autori hanno dimostrato che l'introduzione di misure tessiturali come Grey Level Co-occurrence Matrices (GLCM) o Local Spatial Statistics (LSS) possano migliorare la classificazione tematica. In particolare, tali misure sembrano acquistare grande importanza nella classificazione di dati radar (Hu, 2009; Chini, 2009; Dell'Acqua, 2006; Aldrichi, 2009). Nel presente studio, sul dato COSMO-SkyMed pre-processato sono state calcolate le misure tessiturali definite nelle Equazioni 2-7, con kernel di dimensione crescente e compresa fra 3x3 e 51x51 pixel:

$$Homogeneity = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=1}^{N-1} \frac{p(i, j)}{1 + (i - j)^2} \quad [2]$$

$$Contrast = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=1}^{N-1} p(i, j) \cdot (i - j)^2 \quad [3]$$

$$Dissimilarity = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=1}^{N-1} p(i, j) \cdot |i - j| \quad [4]$$

$$Entropy = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=1}^{N-1} p(i, j) \cdot \log(p(i, j)) \quad [5]$$



$$\text{Second moment} = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=1}^{N-1} p(i, j)^2 \quad [6]$$

$$\text{Correlation} = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=1}^{N-1} \frac{(i \cdot j) \cdot p(i, j) - \mu_i \cdot \mu_j}{\sigma_i \cdot \sigma_j} \quad [7]$$

dove:

$\sigma, \mu$  sono media e deviazione standard;

$p(i, j)$  sono le frequenze normalizzate di due pixel adiacenti con valori  $i$  e  $j$ ;

$N$  è la dimensione della matrice di Co-occurrence.

Come per la procedura pixel-based anche per quella object-based sono state eseguite la classificazione sul solo dato ottico e utilizzando anche quello radar. Per quanto riguarda l'elaborazione del solo dato ottico, la classificazione OBIA è stata eseguita sulla base della sola misura multispettrale GeoEye-1. Per l'analisi integrata dei dati ottico e radar, invece, scelti alcuni training samples definiti sulle immagini per ogni classe di *land-cover/land-use* sono state calcolate le statistiche di ognuna delle quantità di GLCM definite sopra e per ogni classe sono state selezionate le misure tessiturali che mostravano la separabilità più elevata. In questo secondo caso sono stati quindi utilizzati i seguenti parametri:

- Dissimilarity con kernel 3x3 e 9x9;
- Varianza con kernel 13x13;
- Homogeneity con kernel 3x3;
- Contrast con kernel 3x3 e 7x7.

che assieme alle quattro bande multispettrali GeoEye-1 e al dato CSK® in ampiezza pre-processato rappresentano gli 11 layer tematici di input usati nella classificazione OBIA del dato integrato ottico-radar. La Figura 6 mostra l'esempio per la varianza tessiturale, dove si può notare come l'utilizzo del kernel 13x13 ottimizzi la separabilità delle classi urbanizzato (Built-up), strade (Roads) e il terreno nudo (Bare Soil). La classificazione tematica è stata realizzata attraverso il metodo Nearest Neighbour (Figura 7).

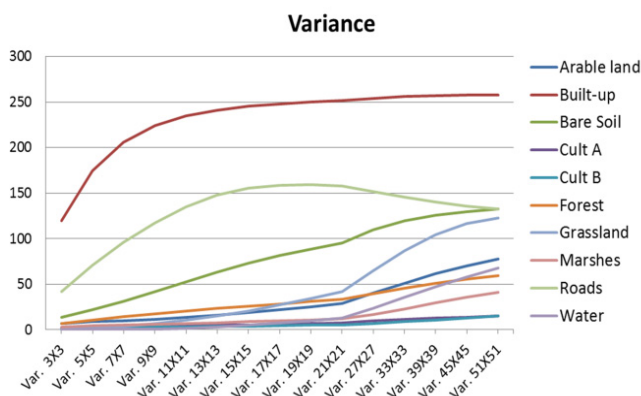
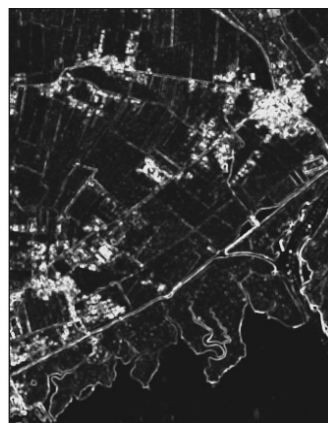


Figura 6 – Esempio di misure tessiturali di Grey Level Co-occurrence Matrices: (sinistra) valor medio della varianza tessiturale in funzione della dimensione del kernel e della classe di *land-cover/land-use*; (destra) mappa spazializzata della varianza tessiturale per kernel 13x13.

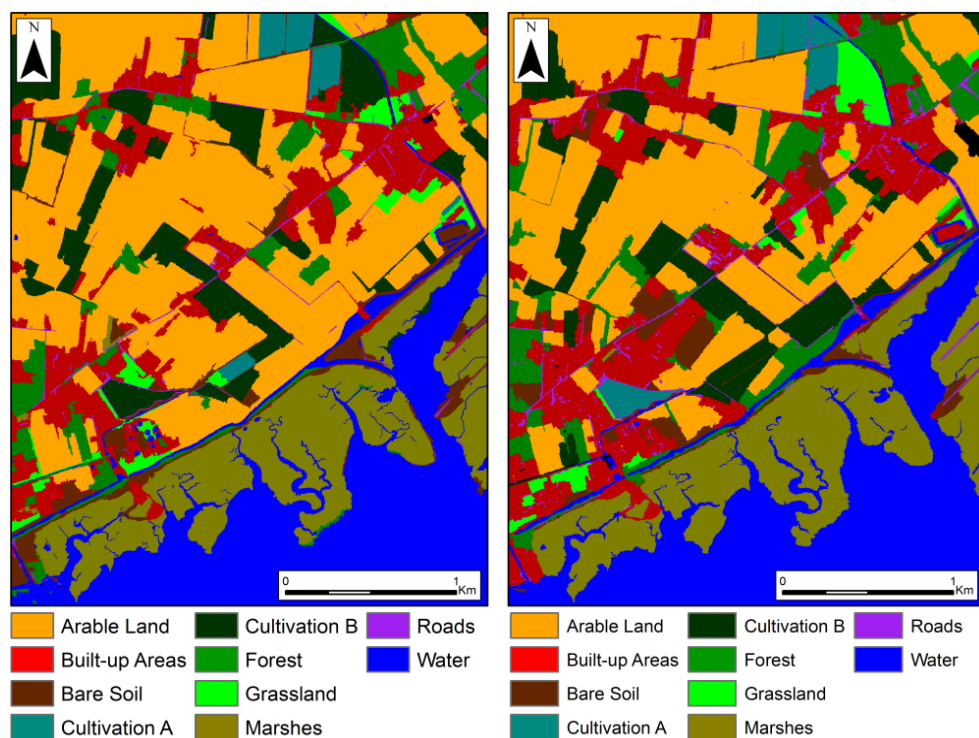


Figura 7 – Classificazione tematica OBIA: (sinistra) mappa tematica prodotta dal solo dato GeoEye-1; (destra) mappa tematica prodotta dall'utilizzo congiunto dato GeoEye-1 e COSMO-SkyMed;. Prodotto elaborato da L@RS - Politecnico di Milano; Prodotto originale ©GeoEye-1; 2009; Distribuito da e-GEOS. Prodotto originale COSMO-SkyMed - ©ASI - Agenzia Spaziale Italiana - (2010).

## 6. Risultati

La validazione delle mappe tematiche prodotte con tecnica pixel-based e OBIA è stata eseguita utilizzando un testing sample generato attraverso un algoritmo di Stratified Random Sampling. Per ognuna delle dieci classi sono stati generati 200 punti di validazione casuali, successivamente classificati sulla base della cartografia esistente (Carta Tecnica Regionale della regione Veneto, 2006) e sull'interpretazione visiva dell'immagine multispettrale GeoEye-1.

La Tabella 1 mostra i valori di Overall Accuracy (OA) e del coefficiente Kappa (k), mentre le Tabelle 2 e 3 mostrano le matrici di confusione delle classificazioni pixel-based e le Tabelle 4 e 5 quelle delle classificazioni object-based.

|                          | GeoEye-1<br>Pixel-based | GeoEye-1+ CSK®<br>Pixel-based | GeoEye-1<br>OBIA | GeoEye-1+ CSK®<br>OBIA |
|--------------------------|-------------------------|-------------------------------|------------------|------------------------|
| <b>Overall Accuracy</b>  | 68.45%                  | 69.45%                        | 73.00%           | 88.80%                 |
| <b>Kappa Coefficient</b> | 0.6494                  | 0.6606                        | 0.7000           | 0.8756                 |

Tabella 1 – Valori di Overall Accuracy e coefficiente Kappa per tutte le mappe tematiche prodotte.

|             | Arable Land | Built-up | Bare Soil | Forest | Grassland | Marshes | Roads | Water | Cult. A | Cult. B | Totale |
|-------------|-------------|----------|-----------|--------|-----------|---------|-------|-------|---------|---------|--------|
| Arable Land | 105         | 8        | 31        | 0      | 0         | 0       | 1     | 0     | 0       | 9       | 154    |
| Built-up    | 1           | 69       | 9         | 1      | 0         | 0       | 22    | 20    | 0       | 0       | 122    |
| Bare Soil   | 68          | 10       | 82        | 42     | 0         | 3       | 1     | 0     | 0       | 3       | 209    |
| Forest      | 0           | 31       | 2         | 118    | 3         | 25      | 0     | 1     | 5       | 15      | 200    |
| Grassland   | 0           | 2        | 2         | 7      | 127       | 0       | 0     | 0     | 4       | 7       | 149    |
| Marshes     | 0           | 2        | 7         | 21     | 0         | 171     | 1     | 0     | 0       | 0       | 202    |
| Roads       | 4           | 74       | 11        | 1      | 1         | 1       | 174   | 8     | 0       | 0       | 274    |
| Water       | 0           | 0        | 0         | 0      | 0         | 0       | 0     | 171   | 0       | 0       | 171    |
| Cult. A     | 0           | 1        | 0         | 0      | 9         | 0       | 0     | 0     | 189     | 3       | 202    |
| Cult. B     | 22          | 3        | 56        | 10     | 60        | 0       | 1     | 0     | 2       | 163     | 317    |
| Totale      | 200         | 200      | 200       | 200    | 200       | 200     | 200   | 200   | 200     | 200     | 2000   |

Tabella 2 – Matrice di confusione della classificazione pixel-based del solo dato GeoEye-1.

|             | Arable Land | Built-up | Bare Soil | Forest | Grassland | Marshes | Roads | Water | Cult. A | Cult. B | Totale |
|-------------|-------------|----------|-----------|--------|-----------|---------|-------|-------|---------|---------|--------|
| Arable Land | 85          | 6        | 8         | 0      | 0         | 0       | 1     | 1     | 0       | 6       | 107    |
| Built-up    | 0           | 59       | 1         | 0      | 0         | 0       | 15    | 18    | 0       | 0       | 93     |
| Bare Soil   | 89          | 20       | 128       | 50     | 0         | 6       | 3     | 0     | 0       | 11      | 307    |
| Forest      | 0           | 27       | 0         | 125    | 2         | 20      | 0     | 0     | 2       | 6       | 182    |
| Grassland   | 0           | 3        | 3         | 10     | 113       | 1       | 0     | 0     | 4       | 10      | 144    |
| Marshes     | 1           | 9        | 9         | 9      | 0         | 172     | 1     | 1     | 2       | 0       | 204    |
| Roads       | 3           | 72       | 0         | 0      | 2         | 0       | 178   | 2     | 0       | 0       | 257    |
| Water       | 0           | 0        | 0         | 0      | 0         | 0       | 0     | 178   | 0       | 0       | 178    |
| Cult. A     | 0           | 1        | 0         | 0      | 7         | 0       | 0     | 0     | 190     | 6       | 204    |
| Cult. B     | 22          | 3        | 51        | 6      | 76        | 1       | 2     | 0     | 2       | 161     | 324    |
| Totale      | 200         | 200      | 200       | 200    | 200       | 200     | 200   | 200   | 200     | 200     | 2000   |

Tabella 3 – Matrice di confusione della classificazione pixel-based del dato fuso GeoEye-1 e COSMO-SKYMED.

|             | Arable Land | Built-up | Bare Soil | Forest | Grassland | Marshes | Roads | Water | Cult. A | Cult. B | Totale |
|-------------|-------------|----------|-----------|--------|-----------|---------|-------|-------|---------|---------|--------|
| Arable Land | 177         | 20       | 129       | 0      | 25        | 28      | 42    | 0     | 7       | 0       | 428    |
| Built-up    | 0           | 131      | 0         | 0      | 1         | 8       | 8     | 0     | 70      | 0       | 218    |
| Bare Soil   | 1           | 19       | 18        | 0      | 1         | 0       | 0     | 2     | 3       | 5       | 49     |
| Forest      | 11          | 0        | 0         | 200    | 0         | 0       | 0     | 0     | 0       | 0       | 211    |
| Grassland   | 11          | 0        | 27        | 0      | 169       | 0       | 30    | 0     | 7       | 0       | 244    |
| Marshes     | 0           | 25       | 7         | 0      | 4         | 163     | 15    | 0     | 1       | 0       | 215    |
| Roads       | 0           | 3        | 1         | 0      | 0         | 1       | 105   | 0     | 2       | 2       | 114    |
| Water       | 0           | 2        | 18        | 0      | 0         | 0       | 0     | 198   | 3       | 0       | 221    |
| Cult. A     | 0           | 0        | 0         | 0      | 0         | 0       | 0     | 0     | 106     | 0       | 106    |
| Cult. B     | 0           | 0        | 0         | 0      | 0         | 0       | 0     | 0     | 1       | 193     | 194    |
| Totale      | 200         | 200      | 200       | 200    | 200       | 200     | 200   | 200   | 200     | 200     | 2000   |

Tabella 4 – Matrice di confusione della classificazione OBLA del solo dato GeoEye-1.

|             | Arable Land | Built-up | Bare Soil | Forest | Grassland | Marshes | Roads | Water | Cult. A | Cult. B | Totale |
|-------------|-------------|----------|-----------|--------|-----------|---------|-------|-------|---------|---------|--------|
| Arable Land | 165         | 1        | 21        | 0      | 0         | 1       | 0     | 0     | 9       | 0       | 197    |
| Built-up    | 1           | 186      | 1         | 0      | 4         | 0       | 20    | 0     | 23      | 0       | 235    |
| Bare Soil   | 0           | 0        | 126       | 0      | 0         | 4       | 0     | 0     | 13      | 2       | 145    |
| Forest      | 0           | 0        | 0         | 196    | 0         | 0       | 0     | 0     | 0       | 0       | 196    |
| Grassland   | 34          | 2        | 27        | 0      | 196       | 0       | 3     | 0     | 0       | 0       | 262    |
| Marshes     | 0           | 3        | 7         | 0      | 0         | 195     | 13    | 0     | 3       | 1       | 222    |
| Roads       | 0           | 1        | 0         | 4      | 0         | 0       | 164   | 0     | 0       | 0       | 169    |
| Water       | 0           | 0        | 18        | 0      | 0         | 0       | 0     | 200   | 0       | 0       | 218    |
| Cult. A     | 0           | 6        | 0         | 0      | 0         | 0       | 0     | 0     | 152     | 1       | 159    |
| Cult. B     | 0           | 0        | 0         | 0      | 0         | 0       | 0     | 0     | 0       | 196     | 196    |
| Totale      | 200         | 200      | 200       | 200    | 200       | 200     | 200   | 200   | 200     | 200     | 2000   |

*Tabella 5 – Matrice di confusione della classificazione OBIA del dato fuso GeoEye-1 e COSMO-SKYMED.*

Come si evince dalla Tabella 1, per quanto riguarda la classificazione pixel-based, la fusione del dato SAR non ha introdotto cambiamenti significativi lasciando l'OA quasi invariata. Anche le percentuali di User Accuracy (UA) e Producer Accuracy (PA) per ogni classe non subiscono variazioni significative, indicando la scarsa influenza del dato radar nel caso di utilizzo di algoritmi di classificazione pixel-based. In particolare l'accuratezza nel classificare l'urbanizzato diminuisce. Nella classificazione object-based, l'introduzione del dato CSK® ha aumentato sensibilmente l'OA di circa il 15%. In particolare, la classificazione dell'urbanizzato ha una PA pari al 93%, a fronte del 65% per il solo dato GeoEye-1. Questo è spiegabile con l'integrazione del dato SAR e delle GLCM che hanno aiutato a discriminare sensibilmente l'urbanizzato dal terreno agricolo e soprattutto dalle strade, la cui PA è passata dal 52% al 82%. Infine, il suolo nudo che presenta una PA di solo il 9% con il GeoEye-1 dopo l'integrazione con CSK® e GLCM passa al 63%.

## 7. Conclusioni

Il presente studio ha affrontato il tema dell'integrazione di dati ottici e radar ad alta risoluzione geometrica per la produzione di mappe di *land-cover/land-use* esplorando sia tecniche pixel-based sia object-based.

La fusione del dato GeoEye-1 con quello COSMO-SkyMed non ha prodotto sostanziali miglioramenti alla classificazione tematica, presumibilmente dovuti alla grande variabilità interna dei dati CSK®, soprattutto nella classe urbanizzato. La classificazione object-based, per contro, ha sempre mostrato una accuratezza superiore rispetto a quella pixel-based, grazie alla possibilità di sfruttare caratteristiche non solamente spettrali ma anche geometriche e relazionali degli oggetti. L'integrazione del dato CSK® e delle GLCM ha incrementato sensibilmente la accuratezza della classificazione, eliminando i problemi di speckle caratteristici dei dati SAR.

In conclusione, i risultati ottenuti mostrano come l'integrazione di dati radar a quelli ottici presenti interessanti potenzialità nel campo della classificazione tematica OBIA del *land-cover/land-use*, incrementando l'accuratezza di classificazione rispetto al solo utilizzo di un dato multispettrale povero come è quello dei sensori ad alta risoluzione geometrica. È comunque da sottolineare come i risultati presentati siano preliminari e rappresentino solamente un primo passo verso la completa integrazione tra dati ottici e radar. Inoltre, è da considerare come i dati GeoEye-1 e COSMO-SkyMed utilizzati nello studio non siano stati acquisiti in modo sincrono. Per questi motivi sembra ragionevole attendersi ulteriori sviluppi e miglioramenti in futuro.

## Ringraziamenti

Il presente studio è parte del progetto di ricerca “Evaluation of COSMO-SkyMed system and performances and simulation of future Orfeo system with existing optical data” finanziato dall’Agenzia Spaziale Italiana (Accordo n. I/042/09/0). I dati COSMO-SkyMed sono stati forniti dall’Agenzia Spaziale Italiana. Gli autori, inoltre, ringraziano Tele-Rilevamento Europa per il preprocessing dei dati COSMO-SkyMed.

## Bibliografia

- Aldrichi M., Dell'Acqua F., Lisini G. (2009), “Tile mapping of urban area extent in VHR SAR images”, *Urban Remote Sensing Event*, 2009 Joint: 1-5.
- Amarsaikhan D., Blotvogel H. H., van Genderen J. L., Ganzorig M., Gantuya R., Nergui B. (2010), “Fusing high-resolution SAR and optical imagery for improved urban land cover study and classification”, *International Journal of Image and Data Fusion*, 1(1): 83-97.
- Amolins K., Zhang Y., Dare P. (2007), “Wavelet based image fusion techniques – An introduction, review and comparison”, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 62(4): 249-263.
- Becker F., Choudhury B.J. (1988), “Relative sensitivity of normalized difference vegetation index (NDVI) and microwave polarization difference index (MPDI) for vegetation and desertification monitoring”, *Remote Sensing of Environment*, 24: 297-311.
- Bignami C., Chini M., Pierdicca N., Stramondo S. (2004), “Comparing and combining the capability of detecting earthquake damages in urban areas using SAR and optical data”, *International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2004. IGARSS '04. Proceedings. 2004 IEEE International*, 2009(1).
- Blaschke T. (2010), “Object-based image analysis for Remote Sensing”, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 65: 2-16.
- Canty M. (2009), “Image Analysis, Classification and Change Detection in Remote Sensing with Algorithms for ENVI/IDL, 2nd Edition”, *Taylor & Francis*, London, p.471.
- Castañeda C., Ducrot D. (2009), “Land cover mapping of wetland areas in an agricultural landscape using SAR and Landsat imagery”, *Journal of Environmental Management*, 90(7): 2270-2277.
- Chini M., Pierdicca N., Emery W.J. (2009). “Exploiting SAR and VHR Optical Images to Quantify Damage Caused by the 2003 Bam Earthquake”, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47(1): 145-152.
- Colditz R., Wehrmann T., Bachmann M., Steinnocher K., Schmidt M., Strunz G., Dech S. (2006), “Influence of image fusion approaches on classification accuracy: a case study”, *International Journal of Remote Sensing*, 27(15): 3311-3335.
- Connors R.W., Trivedi M.M., Harlow C.A. (1984), “Segmentation of a high-resolution urban scene using texture operators”, *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 25(3): 273-310.
- Dell'Acqua F., Gamba P. (2006), “Discriminating urban environments using multiscale texture and multiple SAR images”, *International Journal of Remote Sensing*, 27(18): 3797 - 3812.
- Dobson M.C., Ulaby F.T., Pierce L.E. (1995), “Land-cover classification and estimation of terrain attributes using synthetic aperture radar”, *Remote Sensing of Environment*, 51(1): 199-214.
- Dobson M.C., Pierce L.E., Ulaby F.T. (1996), “Knowledge-based land-cover classification using ERS-1/JERS-1 SAR composites”, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 34(1): 83-99.
- Ferretti A., Fumagalli A., Novali F., Prati C., Rocca F., Rucci A. (2011), “A New Algorithm for Processing Interferometric Data-Stacks: SqueeSAR”, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 49(9): 3460-3470.
- Gamba, P., Dell'Acqua F., Dasarathy B.V. (2005), “Urban remote sensing using multiple data sets: Past, present, and future”, *Information Fusion*, 6(4): 319-326.
- He W., Chen H. (2009), “The Characteristics of Microwave Emissivity over Land of Chinese Jianghuai-Huanghuai Region”, *Remote Sensing Technology and Application*, 2009(03).
- Hu Z.-l., Li H.-q., Du P.-j. (2009). “Case study on the extraction of land cover information from the SAR image of a coal mining area”, *Mining Science and Technology (China)*, 19(6): 829-834.
- Huang S., Crabtree R.L., Potter C., Gross P. (2009), “Estimating the quantity and quality of coarse woody debris in Yellowstone post-fire forest ecosystem from fusion of SAR and optical data”, *Remote Sensing of Environment*, 113(9): 1926-1938.
- Jones M.O., Jones L.A., Kimball J.S., McDonald K.C. (2011), “Satellite passive microwave remote sensing for monitoring global land surface phenology”, *Remote Sensing of Environment*, 115(4): 1102-1114.
- Lakhankar T., Ghedira H., Temimi M., Azar A.E., Khanbilvardi R. (2009), “Effect of Land Cover Heterogeneity on Soil Moisture Retrieval Using Active Microwave Remote Sensing Data”, *Remote Sensing*, 1(2): 80-91.
- Lu D., Weng Q. (2007), “A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance”, *International Journal of Remote Sensing*, 28(5): 823-870.
- McNairn H., Champagne C., Shang J., Holmstrom D., Reichert G. (2009), “Integration of optical and Synthetic Aperture Radar (SAR) imagery for delivering operational annual crop inventories”, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(5): 434-449.

- Mejail M.E., Jacobo-Berles J., Frery A.C., Bustos O.H. (2003), "Classification of SAR images using a general and tractable multiplicative model", *International Journal of Remote Sensing*, 24(18): 3565-3582.
- Nizalapur V., Madugundu R., Jha C.S. (2011), "Coherence-based land cover classification in forested areas of Chattisgarh, Central India, using environmental satellite-advanced synthetic aperture radar data", *Journal of Applied Remote Sensing*, 5, 059501.
- Picco M., Palacio G. (2011), "Unsupervised Classification of SAR Images Using Markov Random Fields and  $\text{calG}^0_1$  Model", *Geoscience and Remote Sensing Letters*, 8(2): 350-353.
- Tison C., Nicolas J.M., Tupin F., Matre H. (2004), "A new statistical model for Markovian classification of urban areas in high-resolution SAR images", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42(10): 2046-2057.
- Zhang YP, Jiang LM, Qiu YB, Wu SL, Shi JC, Zhang LX (2010), "Study of the microwave emissivity characteristics over different land cover types", *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 30(6): 1446-1451.
- Ehlers M., "Multisensor image fusion techniques in remote sensing", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 46(1): 19-30.
- Pohl C., Van Genderen J.L. (1998), "Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications", *International Journal of Remote Sensing*, 19(5): 23-55.
- Simone G., Farina A., Morabito F. C., Serpico S. B., Bruzzone, L. (2002), "Image fusion techniques for remote sensing applications", *Information Fusion*, 3(1): 3-15.
- Zhou W., Huang G., Troy A., Cadenasso M.L. (2009), "Object-based land cover classification of shaded areas in high spatial resolution imagery of urban areas: A comparison study", *Remote Sensing of Environment*, 113(8): 1769-1777.
- Zhou W., Troy A. (2008), "An object-oriented approach for analysing and characterizing urban landscape at the parcel level", *International Journal of Remote Sensing*, 29(11): 3119-3135.



## GeoServer, il server open source per la gestione interoperabile dei dati geospaziali

Ing. Simone Giannecchini, Ing. Andrea Aime

GeoSolutions S.A.S, Via Carignoni 51, 55041 Camaiore (LU), Italia  
Tel. +390584962313, Fax. +390584962313, email: [info@geo-solutions.it](mailto:info@geo-solutions.it)

### Abstract

GeoServer è un server GeoSpaziale Open Source scritto in Java, seguendo le comuni pratiche Java Enterprise, per la gestione, disseminazione e analisi di dati geospaziali.

GeoServer permette di distribuire, manipolare e analizzare i dati usando i più diffusi standard OGC (WMS, WFS, WCS, WPS), senza però dimenticare estensioni specifiche per una interazione trasparente con client come Google Earth e software commerciale in genere, né gli ormai diffusi approcci basati su protocolli REST e GeoJSON per la distribuzione semplificata di semplici dati vettoriali. Obiettivo della presentazione è fornire allo spettatore una esaustiva panoramica delle funzionalità offerte da GeoServer per la creazione di Spatial Data Infrastructure interoperabili, con particolare attenzione alle nuove funzionalità introdotte in GeoServer 2.1 e all'analisi di dati spaziali con il protocollo WPS 1.0. *GeoServer is an open source geo-spatial server written in Java, following the common Java Enterprise practices, allowing for the handling, distribution and analysis of geospatial data. GeoServer allows to distribute, handle and analyses data using the most widely accepted OGC standards (WMS, WFS, WCS and WPS), without forgetting specific extensions for a transparent interacting with clients such as Google Earth and commercial software in general, and providing support for the now common protocols based on REST and GeoJSON for the distribution of simple vector based data. The presentation will give the audience an exhaustive overview of GeoServer functionalities for the creation of interoperable Spatial Data Infrastructures, with particular focus on the new GeoServer 2.1 functionalities and the WPS 1.0 spatial data analysis capabilities.*

### Introduzione

GeoServer<sup>1</sup> è un server open source rilasciato sotto licenza GPL (Free Software Foundation, 1991) per la gestione e la disseminazione di dati geospaziali secondo specifiche edite dall'*Open Geospatial Consortium (OGC)*<sup>2</sup> e dall'*ISO Technical Committee 211 (ISO TC 211)*, di conseguenza fornisce le funzionalità di base per creare Infrastrutture di Dati Territoriali, dette anche *Spatial Data Infrastructure (SDI)*, basate su tali standard. GeoServer è stato sviluppato per ingerire, gestire e servire dati geospaziali sia vettoriali (*feature* nel gergo OGC) che raster (*gridcoverage* nel gergo OGC) ma anche per creare e disseminare mappe georeferenziate ottenute giustapponendo versioni renderizzate dei dati menzionati in precedenza secondo specifiche regole di stile, codificate secondo gli standard menzionati. Obiettivo di questo articolo è fornire una introduzione ragionata a quello che sono le caratteristiche e le funzionalità offerte dal GeoServer ponendo l'accento soprattutto sul supporto per la interoperabilità tramite la implementazione di protocolli standard. Inoltre saranno fornite anche informazioni rispetto alla architettura interna del GeoServer nonché una serie di informazioni relative al progetto Open Source stesso che lo gestisce e promuove.

---

<sup>1</sup> <http://geoserver.org/>

<sup>2</sup> <http://www.opengeospatial.org/>

## Caratteristiche Salienti

Nelle successive sezioni introdurremo e descriveremo quelle che sono le caratteristiche salienti del GeoServer coprendo con adeguato dettaglio protocolli supportati, funzionalità offerte, formati di dati supportati in ingresso ed in uscita nonché la infrastruttura interna.

## Protocolli Supportati

GeoServer, come accennato in precedenza, è stato creato per fornire il supporto a protocolli standard in modo da rappresentare un valido strumento per la creazione di infrastrutture distribuite geospaziali interoperabili. Esso supporta in modo nativo una vasta gamma di standard, sia promulgati da enti internazionalmente riconosciuti come OGC ed ISO TC 211, sia standard de facto creati all'interno della comunità degli sviluppatori di software geospaziale Open Source, quali ad esempio *WMS-C*, il protocollo l'accesso orientato ai *tile* del *Web Map Service* o *WMS*.

Gli standard attualmente supportati sono:

- **OGC Web Map Service (WMS) 1.1.1** (de La Beaujardièrre, et al., 2002) con supporto per **OGC Styled Layer Descriptor (SLD) 1.0.0** (Lalonde, 2002), **OGC Web Map Service (WMS) 1.3** (de la Beaujardièrre, 2006) con supporto per **OGC Symbology Encoding (SE) 1.1** (Muller, 2006) per la generazione e disseminazione di mappe georeferenziate a partire da dati sia raster che vettoriali. GeoServer supporta inoltre tutta una serie di direttive di rendering proprietarie, alcune delle quali saranno discusse nel seguito
- **OGC Web Coverage Service (WCS) (Whiteside, et al., 2006) 1.1.0 and Web Coverage Service (WCS) (Evans, 2003) 1.0.0** per la gestione e disseminazione dei dati raster in formato nativo. In altre parole questo servizio fornisce la possibilità di accedere a sottoaree, riproiettare, ricampionare e cambiare formato dei dati raster. Notare che il WCS differisce dal WMS in quanto nella catena di processamento del dato raster non vi sono direttive di rendering
- **OGC Web Feature Service (WFS) 1.0.0** (Vretanos, 2002) e **1.1.0** (Vretanos, 2005). Questo tipo di servizi permette la gestione e la disseminazione di dati vettoriali in formato nativo; è evidente il parallelo con il servizio WCS per i dati raster: tramite WFS è possibile avere accesso diretto al dato vettoriale originale, o comunque ad una versione riprocessata di esso secondo le indicazioni ricevute, piuttosto che ad un rendering degli stessi come tramite attraverso il servizio WMS. E' opportuno sottolineare che GeoServer supporta come formato di output il **Geography Markup Language (GML)** insieme a altri formati di largo uso quali Shapefile (ESRI, 1998) e GeoJSON
- Eccellente supporto **OGC Keyhole Markup Language (KML)** (Wilson, 2008) il dialetto XML che permette al GeoServer di interagire con Google Earth e Google Maps anche con caratteristiche avanzate che analizzeremo nel prosieguo
- **WMS-C, OGC WMS-T, TMS** attraverso la sua estensione GeoWebCache<sup>3</sup>
- **OGC Web Processing Service (WPS) 1.0.0** (Schut, 2007) in modo da fornire supporto per la pubblicazione interoperabile di geoprocessi verso il web
- **GeoRSS** (Geo), lo standard de facto per estendere il formato di trasporto Remote Syndication Standard (RSS) in modo da aggiungere supporto per specificare topologie georiferite

Nella tabella che segue sono riassunte le versioni dei protocolli OGC che il GeoServer implementa, con particolare riferimento a quelli per cui è *Reference Implementation*<sup>4</sup>.

---

<sup>3</sup> <http://geowebcache.org/>

<sup>4</sup> Una *Reference Implementation* è una implementazione di una specifica OGC che è stata verificata e validata come pienamente corretta e rispondente alla specifica e che solitamente viene messa a disposizione usando software Open Source e gratuito in modo che altre implementazioni anche proprietarie possano usarla come riferimento. Si veda questa pagina per ulteriori informazioni <http://cite.opengeospatial.org/reference>.

| Protocollo | Versione         | Reference Implementation |
|------------|------------------|--------------------------|
| WCS        | 1.0              |                          |
|            | 1.1.0            | X                        |
| WFS        | 1.0              | X                        |
|            | 1.1              | X                        |
|            | 2.0 <sup>5</sup> |                          |
| WMS        | 1.1.1            |                          |
|            | 1.3              |                          |
| WPS        | 1.0.0            |                          |

Figura 1 – Protocolli standard supportati dal GeoServer con le relative versioni.

### Formati Supportati

La lista di formati supportati in ingresso ed in uscita dal GeoServer è piuttosto vasta, grazie anche ad un largo numero di estensioni a disposizione che contribuiscono ad incrementarne l'estensione, mentre nuovi formati sono aggiunti continuamente dai membri della comunità degli sviluppatori.

| Formato           | WMS   |        | WFS   |        | WCS   |        |
|-------------------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|
|                   | Input | Output | Input | Output | Input | Output |
| Geotiff           | I     | I      | -     | -      | I     | I      |
| Image+world file  | I     | I      | -     | -      | I     | I      |
| GTOPO30           | I     | I      | -     | -      | I     | I      |
| Ascii grid        | I     | -      | -     | -      | I     | I      |
| Image mosaic      | I     | -      | -     | -      | I     | -      |
| Image pyramid     | I     | -      | -     | -      | I     | -      |
| ArcSDE raster     | I*    | -      | -     | -      | I*    | -      |
| Erdas Image       | I     | NP     | -     | -      | T     | -      |
| ECW               | I     | NP     | -     | -      | T     | -      |
| MrSID             | I     | NP     | -     | -      | T     | -      |
| JPEG2000          | I     | NP     | -     | -      | T     | -      |
| DTED              | I     | NP     | -     | -      | T     | -      |
| NITF              | I     | NP     | -     | -      | T     | -      |
| CADRG             | I     | NP     | -     | -      | T     | -      |
| Grass Binary Grid | D     | -      | -     | -      | D     |        |
| netCDF-CF         | D     | -      | -     | -      | D     | P      |
| GriB1             | D     | -      | -     | -      | D     | P      |
| HDF-EOS           | D     | -      | -     | -      | D     | P      |
| Oracle GeoRaster  | I*    | -      | -     | -      | I*    | -      |
| BigTiff           | I     | -      | -     | -      | I     | I*     |
| ShapeFile         | I     | -      | I     | I      | -     | -      |
| Postgis           | I     | -      | I     | -      | -     | -      |
| ArcSDE feature    | I     | -      | I     | -      | -     | -      |
| Oracle            | I     | -      | I     | -      | -     | -      |
| MySQL             | I*    | -      | I*    | -      | -     | -      |
| SQL server        | I*    | -      | I*    | -      | -     | -      |
| OGR supported     | D     | -      | I*    | I      | -     | -      |

<sup>5</sup> In fase di sviluppo.

| formats       |    |   |    |   |   |   |
|---------------|----|---|----|---|---|---|
| Cascading WFS | I* | - | I* | - | - | - |
| Cascading WMS | I* | - | -  | - | - | - |
| SpatialLite   | I* | - | I* | - | - | - |
| Teradata      | I* | - | I* | - | - | - |

Figura 1 – Formati dati supportati da GeoServer (I = implementato, I\*=implementato ma non maturo, T= in fase di test, D= in fase di sviluppo, P=pianificato, NP= non pianificato).

### Infrastruttura Enterprise

GeoServer è sviluppato basandosi sul framework Spring<sup>6</sup>, che attualmente è il framework Java Enterprise più utilizzato in ambiente web. E' fuori dagli scopi di questo articolo introdurre e discutere tale framework, nonostante ciò riteniamo sia importante rimarcare alcune caratteristiche fondamentali del GeoServer e che esso espone facendo leva sulle potenzialità di Spring:

- **Modularità:** GeoServer è costituito da un vasto numero di moduli, sia *core*, moduli necessari al corretto funzionamento di base della piattaforma, che di *estensione*, moduli che aggiungono nuove funzionalità alla piattaforma oltre a quelli di base, sia *verticali*, ossia che forniscono servizi all'utente finale, che *orizzontali*, ossia che aggiungono funzionalità a livello di piattaforma piuttosto che di servizi verso l'utenza. Ad esempio, uno dei moduli *core* del GeoServer è il modulo che gestisce la configurazione interna del server mentre il modulo *WPS* è una estensione che fornisce supporto al protocollo WPS appunto. Nella fattispecie, il primo modulo è anche *orizzontale* mentre il secondo è *verticale*. Inoltre questa modularità ha permesso di consentire una elevata indipendenza fra i vari moduli funzionali aspetto fondamentale per un framework di queste dimensioni
- **Estendibilità:** il GeoServer mette a disposizione chi volesse aggiungere nuove funzionalità una gamma vastissima di *extension points* sia sotto forma di interfacce Java da implementare sia sotto forma di punti di estensione messi a disposizione usando i cosiddetti *Bean* di Spring
- **Configurabilità:** il GeoServer è completamente ed estensivamente configurabile tramite interfaccia grafica, tuttavia è opportuno sottolineare come tutti i moduli, seguendo gli standard di Spring, siano ampiamente configurabili via file XML in modo da creare versioni altamente personalizzate del server
- **Architettura Multilivello:** nel GeoServer è stato mantenuto un alto grado di separazione fra i vari livelli della infrastruttura, *dati, logica di servizio e interfaccia*

Come illustrato in **Figura 2** il GeoServer, si basa, oltre che su Spring, su tutta una serie di librerie Open Source molto conosciute, tra cui vorremmo citare:

- **GeoTools (Geo11):** toolkit Open Source geospaziale scritto in Java che permette la gestione, manipolazione e rendering di dati sia raster che vettoriali. Esso costituisce la base operativa con cui GeoServer si interfaccia e gestisce i dati geospaziali.
- **ImageIO (Oracle, 2011), ImageIO-Ext (GeoSolutions, 2007):** librerie di input/output dei dati geospaziali
- **Java Topology Suite (JTS) (Davis, 2002):** libreria Open Source geospaziale scritta in Java per la gestione topologica delle geometrie
- **GDAL:** libreria Open Source per l'accesso ai dati raster geospaziali
- **Java Advanced (JAI) (Oracle, 2001), JAIRTools (Bedward, 2009):** librerie Open Source in Java per il processamento ad alte prestazioni dei dati raster

<sup>6</sup> <http://www.springsource.org/>

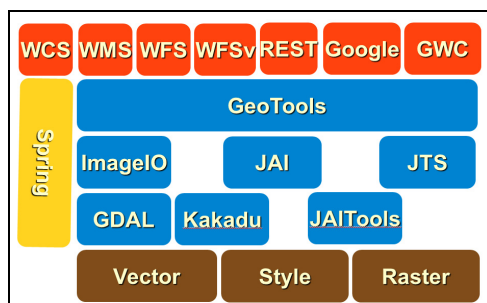


Figura 2 – Infrastruttura di base del GeoServer.

GeoServer è stato utilizzato con successo con una vasta gamma di application server come Tomcat, Jetty, WebLogic, JBoss, etc., inoltre, basandosi su Spring, è stato sviluppato in modo da poter utilizzare risorse *managed* a livello server come *connection pool* di database.

### Interfaccia di Amministrazione Web

Una delle caratteristiche più apprezzate del GeoServer è il fatto che esso fornisce una interfaccia di amministrazione completamente accessibile via web che permette di gestire ogni aspetto della configurazione sia dei servizi che dei dati. E' cross-browser e non richiede installazioni di alcun plug-in (si veda **Figura 3**).

In particolare tramite questa interfaccia sono possibili le seguenti azioni:

- Aggiunta e configurazione di nuove fonti di dati e dei vari servizi OGC dispiegati
- Configurazione del motore di gestione dei dati raster
- Controllo dello stato di salute del GeoServer (visualizzazione log, controllo dell'utilizzo delle risorse)
- Gestione degli utenti e dei rispettivi diritti di accesso a servizi e risorse
- Preview dei dati configurati via client web

Dal punto di vista strettamente tecnico è opportuno sottolineare come la tecnologia usata per costruire la interfaccia grafica del GeoServer permetta di estendere la stessa in modo dinamico semplicemente dispiegando nuovi componenti che andranno ad integrarsi nella struttura di default. Questo permette di aggiungere nuove funzionalità in modo user-friendly senza stravolgere la interfaccia utente di base.

### Supporto avanzato per la creazione di mappe<sup>7</sup>

Uno dei punti di forza del GeoServer è il supporto avanzato per il *rendering* di mappe tramite servizio WMS a partire da dati raster e vettoriali per mezzo dei file SLD (come da specifica OGC) in modo nativo ed estensivo, oltre ad una vasta gamma di estensioni specifiche.

Prima di proseguire è opportuno discutere brevemente lo scopo ed il contenuto dei file SLD. Un file SLD è un file XML che può essere usato per specificare direttive di *rendering* sia per dati vettoriali che per dati *raster*. Per quanto riguarda i dati vettoriali, tenendo conto del parallelo esistente fra una

<sup>7</sup> Styled Layer Descriptor, è uno standard per specificare stili per GeoServer.

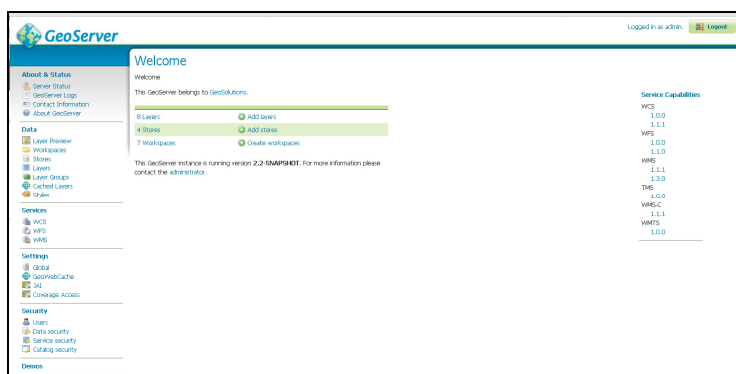


Figura 3 – La interfaccia grafica di amministrazione del GeoServer.

controllare il disegno delle geometrie in relazione ai valori degli attributi alfanumerici delle singole *feature* (si vedano le figure Figura 4 e Figura 5).

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<StyledLayerDescriptor version="1.0.0"
  xsi:schemaLocation="http://www.opengis.net/sld StyledLayerDescriptor.xsd"
  xmlns="http://www.opengis.net/sld"
  xmlns:ogc="http://www.opengis.net/ogc"
  xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink"
  xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance">
  <NamedLayer>
    <name>Simple Point</name>
    <userstyle>
      <title>Simple Point</title>
      <featuretypestyle>
        <rule>
          <pointsymbolizer>
            <graphic>
              <wellknownname>circle</wellknownname>
              <fill>
                <cssparameter name="fill">#FF0000</cssparameter>
              </fill>
              <mark>
                <size>6</size>
              </mark>
            </graphic>
          </pointsymbolizer>
        </rule>
      </featuretypestyle>
    </userstyle>
  </NamedLayer>
</StyledLayerDescriptor>
```

Figura 4 – Semplice SLD file per renderizzare un layer a punti.

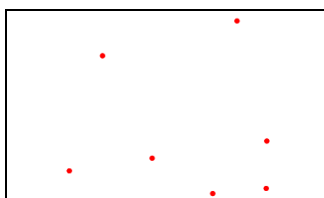


Figura 5 – Risultato del rendering controllato dal precedente SLD file.

Per quanto riguarda i dati *raster* i file SLD forniscono un supporto relativamente limitato per la loro manipolazione orientata al rendering, che comunque includono la possibilità di applicare mappe di colori personalizzati così come la possibilità di applicare funzioni di miglioramento del contrasto, come mostrato in Figura 6.

Nelle prossime sezioni andremo a descrivere brevemente alcune delle direttive di *rendering* più interessanti, siano esse supportate dagli standard WMS ed SLD oppure estensioni specifiche del GeoServer.



## Supporto per Raster Symbolizer

GeoServer supporta la creazione di *rendering* artificiali a partire da raster che contengano valori geofisici (e.g. temperatura misurata sulla superficie del mare) tramite il meccanismo fornito dalla specifica SLD, introdotta sopra, detto *RasterSymbolizer*.

```
<RasterSymbolizer>
  <ColorMap>
    <ColorMapEntry color="#000000" quantity="0.0" opacity="1.0"/>
    <ColorMapEntry color="#ff0000" quantity="2.0" opacity="1.0"/>
    <ColorMapEntry color="#ffff00" quantity="10.0" opacity="1.0"/>
    <ColorMapEntry color="#00ff00" quantity="15.0" opacity="1.0"/>
    <ColorMapEntry color="#00ffff" quantity="20.0" opacity="1.0"/>
    <ColorMapEntry color="#0000ff" quantity="25.0" opacity="1.0"/>
    <ColorMapEntry color="#ff00ff" quantity="30.0" opacity="1.0"/>
    <ColorMapEntry color="#ffffff" quantity="100.0" opacity="1.0"/>
  </ColorMap>
  <opacity>1.0</opacity>
  <ChannelSelection>
    <GrayChannel>
      <SourceChannelName>1</SourceChannelName>
      <ContrastEnhancement>
        <Normalize/>
      </ContrastEnhancement>
    </GrayChannel>
  </ChannelSelection>
  <ContrastEnhancement>
    <GammaValues>1</GammaValues>
  </ContrastEnhancement>
</RasterSymbolizer>
```

Figura 6 – Esempio di applicazione di un *Raster Symbolizer* completo con selezioni banda, applicazione colormap, miglioramento del contrasto su singola banda e su immagine finale.

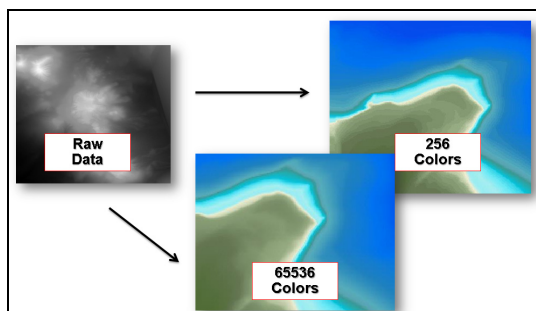


Figura 7 – *Raster Symbolizer* in azione per creare il rendering di un raster DEM.

Tramite questo meccanismo è possibile all'interno di un documento SLD istruire il servizio WMS del GeoServer a fare operazioni su di un raster quali selezione e merge di canali, *contrast stretch*, ma soprattutto applicazione di una *color map* specifica (a 256 o anche 65536 colori) tramite interpolazione lineare (di tipo *piecewise*) tra valori presenti nel raster e colori definiti.

## Controllo avanzato delle etichette

GeoServer permette di controllare finemente, anche e soprattutto tramite varie estensioni allo standard SLD, il posizionamento delle etichette (*label*) per le varie geometrie supportate per i dati vettoriali anche e soprattutto in ragione degli attributi alfanumerici ad esse associate. E' opportuno sottolineare alcune fra le opzioni proprietarie a disposizione:

- **Priority Labeling:** permette di controllare l'ordine di preferenza tra etichette in relazione al valore degli attributi alfanumerici di una feature. Ad esempio ( si veda Figura 8 e **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) è possibile chiedere al server di evidenziare le etichette delle città con un numero di abitanti superiore ad un certo valore.
- **Overlapping and Separating Labels:** permette di controllare finemente se e come le etichette possono sovrapporsi ( si veda Figura 8 e **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

## Geometry Transformations

Il meccanismo delle *Geometry Transformations* ci permette di estendere il meccanismo di disegno delle geometrie per i dati vettoriali messo a disposizione dalla specifica SLD in modo da poter effettuare delle manipolazioni sulle geometrie stesse appena prima di applicare le direttive di

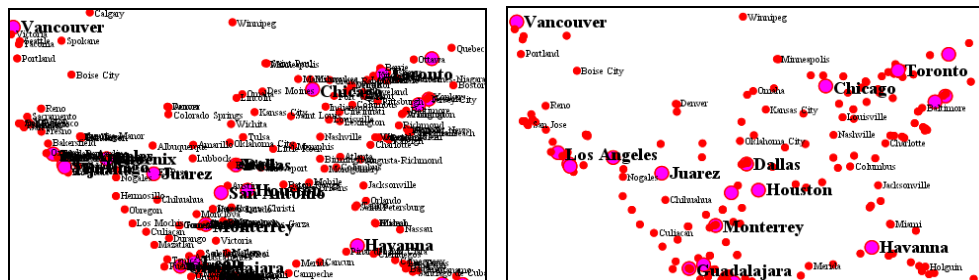


Figura 8 – Disegniamo tutte le città degli stati uniti, prima senza nessuna regola, poi controllando la priorità.

disegno: con questo meccanismo è possibile costruire manipolazioni complesse come quella mostrata in Figura 9.

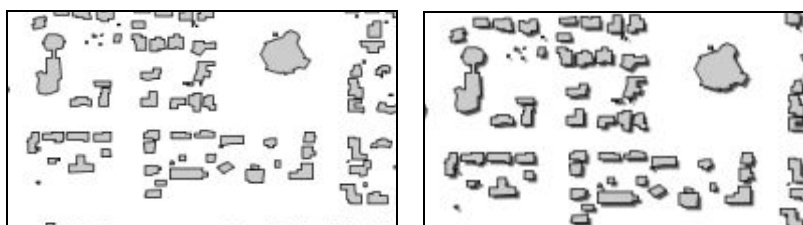


Figura 9 – Utilizzo delle *Geometry Transformations* per aggiungere una ombra a degli edifici.

## Rendering Transformations

Il meccanismo delle *rendering transformations* può essere visto come una naturale estensione del meccanismo delle *geometry transformations* in quanto esso permette di applicare trasformazioni generiche su un intero tematismo prima che esso sia passato al motore di rendering e può essere applicato sia a dati vettoriali che a dati raster. Questo meccanismo si basa sui geoprocessi disponibili attraverso il servizio WPS, ossia possono essere usati come *rendering transformations* i geoprocessi installati dentro una singola installazione di GeoServer tramite installazione della estensione WPS.

Con questo meccanismo è possibile ad esempio creare uno stile che usa geoprocessi (sperimentali) di estrazione dei contorni e/o di poligonalizzazione di un raster ed allo stesso tempo indicare le direttive di disegno per le geometrie così generate, come mostrato in Figura 10.

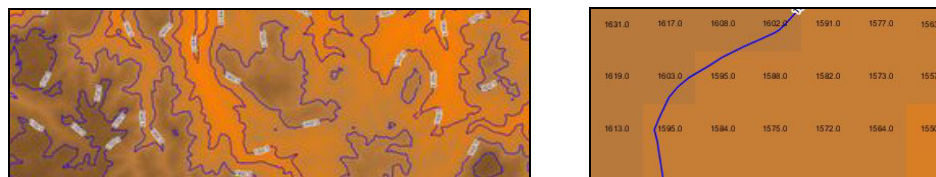


Figura 10 – Estrazione dei contorni da DEM, poligonalizzazione di DEM e loro disegno vettoriale on-the-fly.

### Gestione della Qualità di servizio tramite Control Flow Module

Il modulo di control-flow è una estensione per GeoServer che fornisce all'amministratore gli strumenti per controllare il numero di richieste concorrenti che il server può gestire nonché la *Quality of Services (QoS)* ad esse riservata in termini di risorse utilizzate e tempi massimi di risposta. Questo tipo di controllo è importante per vari motivi:

- **Performance:** nostri test hanno evidenziato che limitare il numero di richieste WMS concorrenti a massimo 2 volte il numero di core CPU disponibile permette di incrementare visibilmente il *throughput* delle richieste di mappe.
- **Resource control:** richieste di estrazione dati o creazione mappe possono sfruttare grandi quantità di risorse di calcolo, e.g. memoria e CPU. La possibilità di imporre limiti sulle richieste, ad esempio sulle richieste di mappe, permette agli amministratori di controllare la quantità di memoria allocata ad ogni richiesta. Tramite i parametri di **Resource control** è però possibile controllare anche il numero totale di richieste servite contemporaneamente, controllando anche indirettamente la quantità massima di memoria utilizzabile dal GeoServer.
- **Fairness:** un singolo utente non dovrebbe sovraccaricare il server con troppe richieste, cannibalizzando le risorse del server stesso a discapito degli altri utenti.

Il modulo di control flow normalmente non rigetta le richieste in eccesso rispetto ai parametri di controllo, ma le accoda e le esegue ritardate nel tempo. E' comunque possibile configurare il modulo per rigettare le richieste dopo che esse siano state in coda per un tempo troppo lungo.

### Supporto alla pubblicazione di KML<sup>8</sup>

GeoServer si integra agilmente con Google Earth supportando out-of-the-box innumerevoli feature interessanti riguardo alla produzione di KML, quali ad esempio:

- **SuperOverlays:** E' utilizzato nei casi in cui si devono rappresentare grandi quantità di dati e rappresenta una specifica forma di KML in cui i dati rappresentati sono suddivisi in regioni. Questo consente a Google Earth di richiedere o aggiornare ogni particolare regione della mappa solo quando questa viene visualizzata. Sono supportati i tipi di super-overlays raster e quello vettoriale. Il super-overlays raster produce delle immagini ottimizzate per il corrente livello di zoom della mappa e nuove immagini sono fornite quando questo cambia. Con il super-overlays i dati vettoriali vengono mostrati in modo progressivo, man mano che ci si avvicina alla superficie, per non sovraccaricare Google Earth.
- **Heights and Time templates:** Con GeoServer si ha la possibilità di definire dei modelli Freemarker (file *height.ftl*) per visualizzare i dati su Google Earth nel tempo e nella dimensione Z (di default Google Earth rappresenta i dati in due sole dimensioni). Configurando un modello di quota e scegliendo un attributo dal *layer*, si possono visualizzare su Google Earth le estrusioni delle singole feature sulla base dell'attributo scelto. Scegliendo invece di costruire un Time template (file *time.ftl*) si deve avere a disposizione, all'interno del dataset, un attributo temporale che, all'atto della visualizzazione di Google Earth viene utilizzato per la generazione di serie temporali sui dati.
- **Placemark templates:** modelli Freemarker possono essere utilizzati in GeoServer per personalizzare i Placemark di Google Earth. Si possono definire quindi due differenti file (*title.ftl* e *description.ftl*) il cui contenuto, sulla base sempre di uno o più attributi scelti, andrà a costituire il riempimento informativo del Placemark (si possono inserire anche elementi che indipendenti come immagini o link).
- **Regionation and scoring:** La modalità di super-overlay vettoriale può far uso della KML Regionation per organizzare le feature gerarchicamente. Questo richiede la specifica di un Regionation Attribute, che determina la modalità con cui le feature devono essere visibili ad

---

<sup>8</sup> KML è il dialetto XML con cui le applicazioni geospaziali possono interagire con i client geospaziali di Google come Google Earth e Google Maps.

un particolare livello di zoom. GeoServer inoltre ha la possibilità di eseguire il rendering dei dati KML in formato raster o vettoriale. Questo viene determinato da quante feature sono presenti nella sorgente dati e dal valore dell'attributo KMSCORE.

### **Autenticazione**

GeoServer fornisce di default supporto alla *HTTP Basic Authentication*<sup>9</sup>, sistema di autenticazione di larga diffusione e supportato da tutti i client OGC. Altri meccanismi di autenticazione possono essere integrati grazie alle funzionalità offerte da *Spring Security*, il modulo di sicurezza di Spring utilizzato da GeoServer anche se occorre prestare attenzione a quali client potranno beneficiare dell'uso di tali protocolli. Ad esempio, *Central Authentication Service (CAS)*<sup>10</sup>, un diffuso sistema di *Single Sign On*<sup>11</sup>, permetterà una semplice integrazione con applicazioni web-based, ma impedirà l'accesso alla maggior parte dei client di tipo desktop.

### **Autorizzazione**

GeoServer integra un sottosistema di sicurezza basato su *Spring Security* che permette agli utenti di impostare regole di autorizzazione sia a livello di servizio (e.g. regole che si applicano solo alle richieste WMS), sia regole di autorizzazione a livello di singolo *layer*.

Il sistema di sicurezza può essere suddiviso in due componenti:

- un motore di sicurezza di recente sviluppo che permette di applicare regole di sicurezza complesse filtrando sul singolo record, e nascondere singole colonne dati, nonché tagliare dati raster e *layer* WMS in cascata su specifiche aree di interesse
- una interfaccia di configurazione che permette di applicare regole più semplici a livello di singolo *layer* o singolo servizio.

Il motore permette di scrivere un sottosistema di sicurezza personalizzato e integrato con la gestione dell'autorizzazione del proprio dipartimento, mentre l'interfaccia di base permette di applicare semplici regole di sicurezza per installazioni non *enterprise*.

### **Accelerazione Disseminazione Mappe - Integrazione con GeoWebCache**

GeoServer fornisce una integrazione trasparente con il framework geospaziale Open Source GeoWebCache per il caching dei *tile* e la conseguente accelerazione della disseminazione di mappe da server WMS verso client a-la Google Map. La funzionalità di GeoWebCache può essere equiparata a quella di un server proxy tra un client di mappe ed un server WMS. Si occupa sostanzialmente di gestire il caching dei *tile* così come questi sono richiesti salvando gli stessi su disco in una opportuna struttura di directory, eliminando in questo modo l'*overhead* introdotto da richieste ripetute, in quanto attraverso GeoWebCache i *tile* richiesti saranno salvati e recuperati dalla cache compatibilmente con i parametri specificati all'interno delle richieste WMS.

### **Supporto per il protocollo WPS**

Il protocollo WPS, *Web Processing Service*, nasce per consentire la pubblicazione di operazioni di analisi spaziale in maniera interoperabile. Un servizio WPS può consumare dati vettoriali o raster, locali al server o remoti, e produrre una vasta gamma di operazioni comuni quali intersezioni, *buffering*, analisi statistiche su dati raster e vettoriali, algebra raster, conversioni di formato e molto altro. In effetti lo standard WPS impone le modalità di descrizione e chiamata dei processi senza però imporre la realizzazione di particolari funzioni di analisi spaziale, che sono invece lasciate alla discrezione di chi installa il server WPS. GeoServer di default fornisce un set di processi di partenza abbastanza esteso:

---

<sup>9</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Basic\\_access\\_authentication](http://en.wikipedia.org/wiki/Basic_access_authentication)

<sup>10</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Central\\_Authentication\\_Service](http://en.wikipedia.org/wiki/Central_Authentication_Service)

<sup>11</sup> [http://it.wikipedia.org/wiki/Single\\_sign-on](http://it.wikipedia.org/wiki/Single_sign-on)

- decine di semplici processi di analisi su singole geometrie vettoriali insieme ad un discreto numero di processi su tematismi vettoriali quali *clipping*, *buffering* controllato da attributo, *overlay* vettoriale, unione e dissolve
- analisi statistiche su dati raster, raster contro raster classificato, o raster contro poligonale, clip di un raster su poligono, georeferenziazione di un raster dati i punti di controllo al suolo
- vari processi di conversione fra raster e vettoriale, inclusa la estrazione di isolinee

E' inoltre possibile scrivere nuovi processi con una API Java di facile utilizzo. Il supporto alla scrittura di processi in linguaggi di *scripting* quali Python, JavaScript, Scala o JRuby e Groovy è inoltre in fase di sviluppo. Da segnalare la profonda integrazione del servizio WPS con il resto delle funzionalità fornite dal server, citata in precedenza a proposito delle *Rendering Transformations*.

### GeoServer Facts and Numbers

GeoServer è supportato da una comunità di sviluppo e supporto vibrante ed attiva. Inoltre supporto commerciale è disponibile attraverso le seguenti compagnie:

- [GeoSolutions](#) (Italia) è un società operante nel settore della Information & Communication Technology (ICT) geospaziale con la missione di fornire servizi di supporto professionale e soluzioni customizzate innovative, robuste e cost-effective basate sulle migliori tecnologie Open Source. Gli associati di GeoSolutions sono membri del PMC<sup>12</sup> di GeoTools, del PSC<sup>13</sup> di GeoServer ed anche del PSC di GeoNetwork (Geo20).
- [OpenGeo](#), la divisione geospaziale di [The Open Planning Project \(TOPP\)](#) (US), una organizzazione no-profit con sede a New York.

### Project Steering Committee

Il progetto Open Source GeoServer è governato dal Project Steering Committee (PSC). Tale organismo è formato da persone individuali con lo scopo di rappresentare quanto più possibile le diverse componenti della comunità di sviluppatori e power users del GeoServer stesso. Il turnover è ammesso ed atteso per garantire un generale ricambio delle persone che siedono nel PSC in modo lasciare spazio mano mano alle nove risorse che emergono dalla comunità. Il ruolo primario di un membro del PSC è di prendere decisioni riguardo alla gestione del progetto GeoServer, sia operativa che strategica.

### Diffusione

Essendo un progetto Open Source liberamente scaricabile dal quindi una buona sorgente di informazioni per misurare la popolarità del GeoServer è rappresentata dalle statistiche dei download dal sito di distribuzione (SourceForge). Nel periodo Settembre 2009-Settembre 2010 il numero medio di download al mese è stato di 20000. Inoltre GeoServer è attualmente dispiegato in molti ambienti differenti che vanno da aziende private commerciali fino a grandi istituzioni sovranazionali quali FAO (vari dipartimenti), IFAD, WHO, World Bank, Protezione Civile Italiana, Regione Sardegna, Regione Friuli, Regione Calabria.

### Bibliografia

**Bedward, Michael. 2009.** JAITools, Raster image processing for Java developers. *JAITools, Raster image processing for Java developers*. [Online] 2009. [Cited: Agosto 3, 2011.] <http://code.google.com/p/jaitools/>.

**Butler, Howard, et al. 2008.** The GeoJSON Format Specification. *The GeoJSON Format Specification*. [Online] June 16, 2008. <http://geojson.org/geojson-spec.html>.

---

<sup>12</sup> Project Management Committee

<sup>13</sup> Project Steering Committee

- Davis, Martin. 2002.** JTS Topology Suite. *JTS Topology Suite*. [Online] Refrations, 2002. [Cited: Agosto 30, 2011.] <http://sourceforge.net/projects/jts-topo-suite/>.
- de La Beaujardière, Jeff and Doyle, Allan. 2002.** *Web Map Service Implementation Specification*. s.l. : Open GIS Consortium Inc., 35 Main Street, Suite 5, Wayland, MA, USA, 2002.
- de la Beaujardiere, Jeff. 2006.** *OpenGIS® Web Map Server Implementation Specification, Version 1.3.0*. Wayland, MA, USA : Open Geospatial Consortium Inc., 2006. OGC® 06-042.
- ESRI. 1998.** ESRI Shapefile Technical Description. *ESRI Shapefile Technical Description*. [Online] Luglio 1998. [Cited: Agosto 30, 2011.] <http://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf>.
- Evans, John D. 2003.** *Web Coverage Service (WCS), Version 1.0.0*. Wayland, MA, USA : Open Geospatial Consortium Inc., 2003. OGC 03-065r6.
- Free Software Foundation. 1991.** GNU GENERAL PUBLIC LICENSE, Version 2.0. *GNU GENERAL PUBLIC LICENSE, Version 2.0*. [Online] 1991. [Cited: Agosto 30, 2011.] <http://www.gnu.org/licenses/gpl-2.0.txt>.
- GeoNetwork opensource. GeoNetwork opensource.** [Online] [Cited: Agosto 2011, 20.] <http://geonetwork-opensource.org/>.
- GeoRSS Website. georss.org.** [Online] [http://georss.org/Main\\_Page](http://georss.org/Main_Page).
- GeoSolutions. 2007.** Imageio-ext. *Imageio-ext*. [Online] GeoSolutions, 2007. [Cited: Agosto 30, 2011.] <http://java.net/projects/imageio-ext>.
- GeoTools The Open Source Java GIS Toolkit. GeoTools The Open Source Java GIS Toolkit.** [Online] [Cited: Agosto 30, 2011.] <http://geotools.org/>.
- Lalonde, William. 2002.** *Styled Layer Descriptor Implementation Specification*. s.l. : Open GIS Consortium Inc., 2002. OGC 02-070.
- Muller, Dr. Markus. 2006.** *Symbology Encoding Implementation Specification, Version 1.1.0*. Wayland, MA, USA : Open Geospatial Consortium Inc., 2006. OGC 05-077r4.
- Oracle. 2001.** Jai-core. *Jai-core*. [Online] Oracle, 2001. [Cited: Agosto 30, 2011.] <http://java.net/projects/jai-core>.
- . 2011. Jai-imageio-core. *Jai-imageio-core*. [Online] Agosto 30, 2011. <http://java.net/projects/jai-imageio-core>.
- Schut, Peter. 2007.** *Web Processing Service, Version 1.0.0*. Wayland, MA, USA : Open Geospatial Consortium Inc., 2007. OGC 05-007r7.
- Vretanos, Panagiotis. 2005.** *Filter Encoding Implementation Specification, Version 1.1.0*. Mayland, MA, USA : Open Geospatial Consortium Inc., 2005. OGC 04-095.
- . 2002. *Web Feature Service Implementation Specification*. Wayland, MA, USA : Open GIS Consortium Inc., 2002. OGC 02-058.
- . 2005. *Web Feature Service Implementation Specification, Version 1.1.0*. Wayland, MA, USA : Open Geospatial Consortium Inc., 2005. OGC 04-094.
- Whiteside, Arliss and Evans, John. 2006.** *Web Coverage Service (WCS) Implementation, Version 1.1.0*. Wayland, MA, USA : Open Geospatial Consortium Inc., 2006. 06-083r8.
- Wilson, Tim. 2008.** *OGC® KML*. Wayland, MA, USA : Open Geospatial Consortium Inc., 2008. OGC 07-147r2.



## Utilizzo di droni per la documentazione e la valorizzazione dei beni paesaggistici: il progetto FoGLIE

Rossana Gini (\*), Daniele Passoni (\*\*), Livio Pinto (\*\*), Giovanna Sona (\*)

(\*) Politecnico di Milano, DIIAR, Polo Territoriale di Como, Via Valleggio 11, 22100 Como

031/332 7521, rossana.gini@mail.polimi.it, giovanna.sona@polimi.it

(\*\*) Politecnico di Milano, DIIAR, Piazza Leonardo da Vinci 32, 20133 Milano

02/2399 6525, daniele.passoni@polimi.it, livio.pinto@polimi.it

### Riassunto

L'uso di immagini aeree acquisite con velivoli senza pilota, i cosiddetti UAVs (*Unmanned Aerial Vehicles*), si sta sempre più diffondendo per scopi sia descrittivi sia geometrici.

Ne è previsto, ad esempio, l'impiego all'interno del progetto FoGLIE: *Fruition of Goods Landscape in Interactive Environment*, recentemente finanziato dalla Regione Lombardia. Esso nasce dalla necessità di valorizzare il patrimonio artistico e culturale presente sul territorio lombardo, allo scopo di produrre una maggiore fruibilità dei beni culturali, artistici e naturali tramite sistemi audiovisuali di ricostruzione tridimensionale su supporto mobile, da utilizzare lungo gli itinerari di visita. Allo stesso tempo, il progetto nasce anche dall'esigenza di migliorare e distribuire il monitoraggio, avvalendosi dei nuovi mezzi di comunicazione per integrare la modalità di fruizione con quella di documentazione e salvaguardia.

FoGLIE, che ha avuto inizio nell'Ottobre del 2010 e sarà concluso in due anni, vede coinvolte alcune realtà imprenditoriali lombarde e il DIIAR del Politecnico di Milano, in qualità di componente scientifica e di consulenza tecnica in ambito fotogrammetrico; il progetto si concentrerà, su una singola area test, individuata nel Parco Adda Nord che racchiude al suo interno diverse categorie di beni.

I risultati attesi sono, oltre alle ormai diffuse visualizzazioni 3D, scene in *augmented reality* e visualizzazioni a volo d'uccello, ottenute da riprese effettuate con voli *outdoor* e *indoor* di UAVs che necessitano della realizzazione di rilievi fotogrammetrici. Grazie all'utilizzo dei droni, infatti, sarà possibile rilevare informazioni ad altissima risoluzione riguardanti il paesaggio boschivo, criticità ambientali e zone non accessibili o non adeguatamente valorizzate.

Allo stato attuale, si sta sviluppando lo studio e la realizzazione di una ripresa di una zona test con diversi sensori ottici, in grado di riprendere sia la componente visibile sia quella infrarossa (IR), per validare la geometria di ripresa e per studiare le possibilità di classificazione della vegetazione.

### Abstract

The use of aerial imagery, acquired by the so-called UAVs (*Unmanned Aerial Vehicles*), is becoming increasingly popular for both geometric and descriptive purposes.

The employment of such type of images is, for instance, scheduled within the FoGLIE project (*Fruition of Goods Landscape in Interactive Environment*) that was recently funded by Regione Lombardia.

The project starts from the need to enhance the natural, artistic and cultural heritage, widespread on the Lombardy's territory, and to produce a better usability of it by employing, along predetermined routes, audiovisual movable systems of 3D reconstruction. At the same time, the project comes also from the need to improve monitoring procedures by making use of new media for integrating the fruition phase with the documentation and preservation ones.

FoGLIE, which began in October 2010 and will be completed in two years, involves some Lombardy firms and DIIAR of Politecnico di Milano for scientific and technical support in the photogrammetric field; the project will focus on a single test area, Parco Adda Nord, which encloses various goods' types.

Besides the widely used 3D visualization, the expected results are augmented reality scenes and bird's eye views, which will be obtained by images taken with outdoor and indoor UAVs flights. Thus, thanks to them, it will be possible to detect very high resolution information regarding forest landscape, critical environmental situations and not accessible areas or not properly enhanced areas. Currently, it's under development the study and the implementation of a flight on a test area, with different optical sensors which provide both the visible and the infrared (IR) component, in order to validate the image block geometry and to study the feasibility of different tree species classification.

### 1. Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)

Come già successo per varie tecnologie originariamente nate per scopi militari, anche i cosiddetti UAVs (droni in italiano), stanno sempre più dimostrando le loro potenzialità in ambito civile, con una crescente diffusione delle immagini acquisite tramite essi anche per scopi di documentazione e modellizzazione 3D.

Sebbene numerose definizioni siano disponibili in letteratura, si può sinteticamente dire che un UAV sia "un veicolo aereo che non necessita di un operatore umano fisicamente a bordo": in particolare, esso può essere pilotato da terra o può volare in modalità autonoma/semi-autonoma o, ancora, sfruttare una combinazione di queste funzionalità (Eisenbeiss, 2009). A seconda della loro dimensione e del peso trasportabile, i droni possono essere equipaggiati con diversi sensori, incluse camere compatte amatoriali, o camere che rilevano la componente termica o infrarossa (IR) dello spettro elettromagnetico.

Va però sottolineato come proprio il limite di peso e dimensioni del *payload* possa influenzare la scelta di alcuni elementi:

- **SENSORI:** le camere amatoriali di medio o piccolo formato rappresentano senz'altro la soluzione più leggera ma, essendo solitamente meno stabili di quelle professionali, causano spesso una riduzione della qualità dell'immagine.
- **UNITÀ DI NAVIGAZIONE:** l'uso di sistemi a basso costo e leggeri spesso si traduce in una minore accuratezza nella realizzazione del volo.
- **MOTORI E ALIMENTAZIONE:** anche in questo caso, i costi e l'obiettivo di ridurre il peso comportano la scelta di motori meno potenti con limitazioni, per esempio, nell'altitudine raggiungibile, e nella durata del volo.



Figura 1 – Microdrones MD4-200 con camera compatta amatoriale.

D'altra parte, i vantaggi di queste nuove tecnologie rispetto ai voli tradizionali sono numerosi: i bassi costi, la manovrabilità, la possibilità di essere programmati per compiere missioni in modo autonomo e di non richiedere piloti qualificati a bordo sono caratteristiche che li rendono strumenti ideali per situazioni pericolose per la vita umana, o per località non accessibili con mezzi aerei. Si pensi, ad esempio, ai disastri naturali e non: dalle aree vulcaniche o terremotate a quelle alluvionate o, ancora, alle scene dei grandi incidenti. Allo stesso tempo, la ripetibilità dei voli, la veloce acquisizione dei dati e la loro trasmissione in tempo reale con le stazioni al suolo consentono maggiore controllo del territorio e frequenti azioni di monitoraggio (Gini, 2010).

Per questi motivi quindi l'utilizzo di riprese di immagini da UAV si sta velocemente diffondendo in un numero sempre maggiore di settori, che vanno dalla documentazione e generazione di modelli 3D di siti archeologici e beni culturali, alle applicazioni civili come rilievi a scopi catastali,

controllo delle condizioni stradali (Zhang, 2008), ispezione di gasdotti e dighe, *precision farming* (Herwitz et al., 2002) o monitoraggio atmosferico e forestale tramite la determinazione della copertura vegetativa, per citare solo alcuni esempi.

## 2. Il progetto FoGLIE

L'Italia è ricca di località di grande valore culturale e paesaggistico, e non da meno è la Lombardia con i suoi numerosi musei, percorsi visitabili, aree culturali e tecnologiche, di solito caratterizzate da percorsi guidati o postazioni descrittive con cui il visitatore si interfaccia in maniera passiva (ascoltando o leggendo). La gestione di un bene eterogeneo e distribuito sul territorio, invece, risulta essere più complessa e articolata: senza dubbio gli itinerari consigliati all'utente garantiscono una certa libertà di visita, ma l'altra faccia della medaglia è anche una maggiore dispersività.

In quest'ottica, il progetto FoGLIE: *Fruition of Goods Landscape in Interactive Environment* (fruizione dei beni del paesaggio in un ambiente interattivo) nasce dalla necessità di sviluppare un sistema in grado di valorizzare adeguatamente il patrimonio artistico e ambientale: lo scopo è quello di integrare tecnologie avanzate per consentire una fruizione attiva ed esperienziale di siti ricchi di punti d'interesse che, in certi casi, possono risultare inaccessibili: si pensi ad esempio a cascate o corsi d'acqua di difficile accesso, ad aree di elevato pregio artistico che han subito modifiche sostanziali e di cui esiste documentazione o ad archeologia industriale ancora operativa.

Allo stesso tempo, la necessità di migliorare e distribuire il monitoraggio ha costituito un terreno fertile per l'avvio dell'iniziativa che, quindi, fonde le due diverse esigenze per il raggiungimento di un obiettivo innovativo e altrettanto ambizioso: l'impiego di tecnologia all'avanguardia e dei nuovi mezzi di comunicazione per l'integrazione dei processi tipici del monitoraggio con quelli di godimento del territorio, trasformando così la semplice fruizione da parte dell'utente in collaborazione nell'opera di salvaguardia e documentazione del patrimonio.

Nel progetto si intende quindi sviluppare un sistema audiovisuale di guida multimediale, in grado di fornire al visitatore (occasionale o abituale) contenuti, immagini, video fotorealistici ricostruiti con *rendering* 3D, riprese in alta definizione sia *indoor* sia *outdoor* e riproduzioni virtuali di luoghi considerati patrimonio paesaggistico/artistico/culturale. La realizzazione di un prototipo (prodotto principale della ricerca) si baserà su supporti mobili con funzionalità avanzate di connessione e posizionamento: l'utente si troverà così nella condizione di poter segnalare eventuali zone dismesse, discariche abusive o situazioni anomale di corsi d'acqua, terreni e vegetazione; in aggiunta,

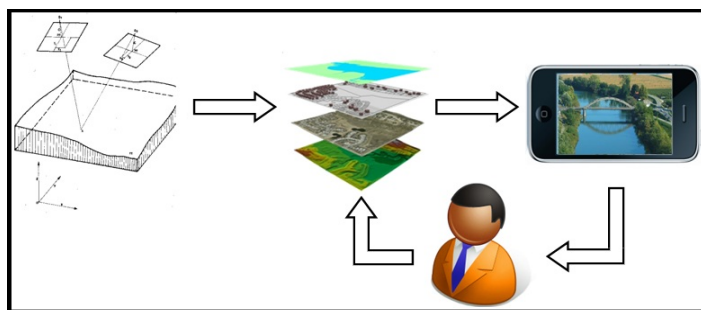


Figura 2 – Integrazione dei concetti di monitoraggio e fruizione.

associando al rilievo fotografico alcune informazioni essenziali, quali data, ora, posizione GPS ed orientamento del punto di presa, si minimizzeranno i falsi positivi e le ridondanze di segnalazioni coerenti. Tali caratteristiche faranno sì che il sistema sviluppato possa trasformarsi, all'occorrenza, in una vera e propria interfaccia di *feedback* per gli operatori, che potranno monitorare in maniera più efficiente e qualificata non solo i beni ma anche il territorio stesso. Questo aspetto non è per nulla minoritario: si pensi infatti al problema più gravoso del monitoraggio, ossia la ripetibilità e la frequenza delle operazioni di acquisizione delle osservazioni, tanto costose quanto indispensabili per avere un controllo costante e continuo del territorio. L'utente, coinvolto nella valorizzazione e salvaguardia del patrimonio collettivo, diventa attore consapevole e, non meno importante, egli stesso destinatario dei benefici del circolo positivo instaurato, potendo appunto fruire dei beni nelle loro condizioni migliori.

## 2.1 Obiettivi tecnologici e impatto

Un aspetto peculiare del progetto è l'impiego di mezzi di comunicazione nuovi, rispetto a sistemi convenzionali quali volantini o audio guide, e di tecnologia all'avanguardia, innovativa per lo specifico campo di applicazione, per le modalità di interazione previste e per il grado di impatto sull'efficienza di salvaguardia. Si tratta di un aspetto cardine per l'integrazione dei processi di monitoraggio e fruizione, consentendo infatti un notevole salto qualitativo del secondo ed una ripartizione degli oneri del primo su attività in grado di generare opportunità di business dirette.

In particolare, si pensa di adoperare supporti multimediali come l'iPad di ultima generazione, che alloggia diversi sistemi di:

- connessione (bluetooth, wi-fi);
- posizionamento (GPS, accelerometri, bussola elettronica);
- interazione multimediale (fotocamera, schermi ad alta risoluzione, gestione mp3 e di dati georeferenziati).

La combinazione di essi consentirà l'erogazione di numerosi servizi di fruizione attiva: dalla possibilità di scaricare e caricare dati ad una vera e propria guida geografica, da materiale fotografico d'epoca, anche teatralizzato, a filmati didattici di ricostruzione in *rendering* 3D, fino alla realtà aumentata che consentirà di sovrapporre, in modo automatico, informazioni interattive.



*Figura 3 – Esempio di realtà aumentata.*

In aggiunta, alcuni contenuti saranno sviluppati con una nuova procedura stereoscopica: l'effetto della parallasse ottica, tipica della naturale visione bioculare umana, verrà reso tramite un *monitor* standard e una particolare lente prismatica, evitando perciò l'uso tanto di schermi costosi e ingombranti quanto di tradizionali invasive periferiche (lenti bi-colori, a polarizzazione cartesiana o sincrona con lo schermo).

A tali supporti multimediali saranno affiancati, come già detto, elicotteri e droni a volo automatico, rispettivamente per riprese interne ed esterne. I contenuti prodotti saranno utilizzabili sia per la gestione del territorio, grazie alla creazione di ortofotocarte georeferenziate ad alta definizione, sia per la pianificazione di itinerari e la fruizione di aree ad oggi inaccessibili e/o con punti di vista privilegiati (panoramiche, volo d'uccello), non altrimenti disponibili all'utenza.



*Figura 4 – Microdrones MD4-200 ed elicottero per le riprese indoor.*

I vantaggi derivanti dall'implementazione di un tale sistema appaiono molteplici:

- l'integrazione dei concetti di monitoraggio e fruizione, già nella fase di generazione di buona parte dei contenuti multimediali: grazie infatti all'impiego dei droni, sarà possibile rilevare informazioni ad altissima risoluzione sul paesaggio boschivo e sull'eventuale presenza di criticità ambientali. Un altro risultato, inoltre, è il rafforzamento delle due procedure, fino ad ora disgiunte ma comunque accomunate dalla coerenza di intenti nel gestire e rendere godibile un bene al meglio;
- una più semplice, immediata e coinvolgente fruibilità, da parte dell'utente, delle opere artistiche, culturali e/o paesaggistiche, nonché di zone oggi inaccessibili;
- l'uso di un'interfaccia portatile dotata di una serie di impostazioni integrate, in grado di soddisfare diverse esigenze;
- la mancanza di strutture ingombranti ed invasive come cartelli o postazioni informative, che hanno un impatto negativo sull'ambiente architettonico e naturale;
- le conseguenze occupazionali determinate dall'implementazione del prototipo, nel settore del turismo, della produzione di contenuti e dello sviluppo di *hardware* e *software* dedicati;
- lo sviluppo di metodi e tecnologie per la conservazione, manutenzione e valorizzazione dei beni, ottimizzando al tempo stesso i processi di verifica delle criticità esistenti. Le fasi di digitalizzazione e archiviazione permetteranno, inoltre, la messa in rete delle risorse e la conseguente fruizione delle opere a distanza, seppur con le evidenti limitazioni relative all'interattività;
- la salvaguardia del territorio e del patrimonio culturale, intesa come una maggior consapevolezza e valorizzazione di ciò che ci circonda.



### 3. Descrizione analitica di FoGLIE

Il progetto prevede la realizzazione di un prototipo, sviluppato su un'area campione, su cui testare e validare il sistema: nello specifico, è stato scelto il Parco Adda Nord a causa del grande numero di attrattive paesaggistiche, naturali, culturali e tecnologiche presenti al suo interno. Basti pensare a luoghi d'interesse storico e con elevata documentazione come il Porto di Leonardo, a siti/edifici di patrimonio industriale ancora attivi (la centrale idroelettrica di Cornate e il Ponte di Paderno) o non più produttivi (il villaggio operaio di Crespi d'Adda).

Attualmente alcune aree risultano precluse al visitatore poichè inaccessibili fisicamente e visivamente: ne sono esempi la Fora d'Adda o il Canyon, entrambi di notevole interesse paesaggistico ma non visualizzabili dai percorsi pedonali lungo le rive del fiume. La varietà di problematiche di fruizione da un lato e di salvaguardia dall'altro (discariche abusive, taglio dei boschi, invasività di specie vegetali non autoctone) coincide perciò con quelle affrontate in molti



Figura 5 – Ponte di Paderno.

altre aree di interesse artistico e culturale.

Obiettivo del progetto è quindi il loro superamento, tramite la realizzazione di un sistema prototipale con potenzialità d'impatto estendibili ad altri territori affini: una volta ottimizzato, il modello potrà infatti esser replicato grazie alla fase di validazione.

La possibilità di applicarlo su larga scala, in contesti cioè distribuiti ma simili per condizioni, garantirà l'auto-sostenibilità futura dell'intero progetto.

FoGLIE si articola in 23 *Work Packages* (WP), opportunamente suddivisi in attività di ricerca industriale e di sviluppo

sperimentale, per un totale di 24 mesi (Ottobre 2010-2012). Esso vede quindi coinvolte alcune realtà imprenditoriali lombarde e il DIIAR del Politecnico di Milano in qualità di componente scientifica e di consulenza tecnica in ambito fotogrammetrico. La fattibilità dell'applicazione è assicurata dalle competenze specifiche dei sei diversi *partner* di seguito elencati:

- **MAGNETIC MEDIA NETWORK** : possiede esperienze di implementazione *hardware* e *software* e di supporti mobili. Oltre alla parte di *management* del progetto, ha il compito di individuare le tecnologie innovative e quindi di implementarle, di progettare e sviluppare software nonché di gestire i sistemi informatici;
- **COCLEA** : promuove e gestisce progetti di sviluppo locale legati al turismo sostenibile, servizi turistici e didattici e produce strumenti per l'interpretazione del patrimonio ambientale e culturale. Si occupa di studiare il modello d'uso e di fruizione delle opere, gli itinerari georeferenziati di visita così come i contenuti interattivi e 3D;
- **VOLOVISIONE** : ha competenze specifiche di riprese con droni e quadriela, di produzioni video, di fotografie aeree e, infine, di post-produzione professionale (spot pubblicitari, *fly advertising*, ecc.). Ha quindi il ruolo di produrre foto con sistemi di volo innovativi per la realizzazione di rilevamenti aerofotogrammetrici, monitoraggio e controllo ambientale, oltre alla valorizzazione del patrimonio artistico con la creazione di contenuti audio/video ad alto coinvolgimento emozionale e forte connotazione tecnologica;
- **START** : è una società di produzione e post-produzione video-cinematografica con specifico *know-how* di ricostruzione *rendering* e applicazioni video avanzate. Sua è la parte di sperimentazione di tecnologia 3D stereoscopica per riprese sia reali sia virtuali: è prevista la realizzazione di filmati in animazione che saranno utilizzati come contenuto didattico nella guida multimediale. Questi saranno inoltre sottoposti ad un apposito post-processamento così da essere visualizzabili senza l'uso di occhiali, grazie ad una lente addizionale applicata all'audioguida;



- COMO NEXT : ex "Centro Volta", questa associazione senza scopo di lucro ha come obiettivo la promozione della cultura scientifica, al servizio della società civile e del territorio. I suoi compiti sono molteplici: dall'inquadramento dell'area di sperimentazione e dello stato dell'arte (relativo ai sistemi e alle tecnologie integrabili con il progetto), alla definizione dei punti di interesse; dalla progettazione del sistema complessivo di fruizione e monitoraggio alla definizione del target utenza e delle specifiche della guida, fino al supporto per la protezione della proprietà intellettuale e all'individuazione del modello di *business* più adatto per le future fasi di sviluppo della fruizione attiva dei beni da parte dei cittadini;
- DIIAR - POLITECNICO DI MILANO: porta l'esperienza relativa alla pianificazione di riprese aeree, alla restituzione fotogrammetrica ed alla interpretazione di dati multispettrali, infine coordina le fasi a più stretto contenuto scientifico.

Politecnico di Milano risulta capofila di cinque diversi WP, di seguito elencati con i relativi risultati attesi:

- a) WP 5 - SCELTA DI UN CASO CAMPIONE PER LO STUDIO, RACCOLTA ED ACQUISIZIONE DEI DATI TERRITORIALI (ESISTENTI E NECESSARI): progettazione della base di dati cartografica consistente in un'ortofotocarta multiscala e digitale dell'area campione;
- b) WP 8 - STUDIO DI UN SISTEMA DI RILEVAMENTO CON FUNZIONI AVANZATE E IN BANDA MULTISPETTRALE: definizione delle specifiche di volo necessarie per il drone, valutazione e selezione del sistema di ripresa più compatibile con i velivoli e più idoneo alle riprese sia nel visibile sia nell'infrarosso, selezione infine del sistema ottimale per l'orientamento delle immagini;
- c) WP 11 - REALIZZAZIONE DEL SISTEMA ORTOFOTOGRAFICO GEOREFERENZIATO: definizione dei parametri di orientamento esterno delle immagini digitali acquisite con camera fotogrammetrica, di un modello digitale del terreno ed ortofotocarta digitale georeferenziata di tutto il Parco Adda Nord, con pixel al suolo pari a 20 cm;
- d) WP 16 - RESTITUZIONE FOTOGAMMETRICA HD AVANZATA ED INCAPSULAMENTO IN ORTOFOTOCARTA AVANZATA: definizione dei parametri di orientamento esterno delle immagini ad alta risoluzione, DSM, modello 3D digitale delle emergenze culturali del parco geograficamente congruenti con l'ortofotocarta di base, co-registrazione delle restituzioni ad alta definizione in essa, realizzazione di pubblicazioni scientifiche e di un manuale operativo;
- e) WP 17 - REALIZZAZIONE SPERIMENTALE DEL MODELLO QUANTITATIVO DI MONITORAGGIO AMBIENTALE AVANZATO IN BANDA MULTISPETTRALE: realizzazione di un *software* di calcolo di volumi dall'analisi dei DSM georeferenziati ed acquisiti in differenti epoche (terreno e aree boscate per il calcolo del volume di legno tagliato), del volume della biomassa e monitoraggio delle variazioni; *software* di analisi delle immagini IR per l'analisi di significatività sulla variazione di risposta multispettrale di aree boscate e riconoscimento, anche quantitativo, delle diverse specie vegetali non autoctone.

Al termine dei lavori è previsto un WP dedicato alla disseminazione dei risultati, in cui alle attività di raccolta sistematica di informazioni tecnico-scientifiche, prodotte in corso d'opera, seguono quelle di diffusione e valorizzazione delle suddette e delle metodologie proposte. Si è deciso inoltre di basare quest'ultima fase su diversi strumenti, nel tentativo di raggiungere un numero maggiore di potenziali interlocutori ed utenti: non solo pubblicazioni tecniche e scientifiche su riviste specializzate e di settore, ma anche articoli divulgativi e comunicati stampa per fornire indicazioni sulle diverse applicazioni della stessa, a cui si aggiungeranno: partecipazione a convegni, *workshop* ed eventi Apple, organizzazione di *fam-trip* ed *educational* per diversi soggetti (Pubblica Amministrazione, giornalisti, docenti, operatori del settore turistico).

Tra i consulenti vi è anche la Fondazione Politecnico di Milano che, nata per favorire il rapporto tra università e aziende, ha l'incarico di supportare trasversalmente i *partner* nelle attività di ricerca industriale e di divulgazione dei risultati.

#### 4. Stato di avanzamento del progetto



Figura 6 – Area test di Medolago.

In questo periodo di svolgimento della ricerca sta rivestendo particolare interesse lo studio e la realizzazione di una ripresa di una zona test con diversi vettori e differenti camere. L'area test, nel comune di Trezzo, comprende differenti tipologie di territorio: antropizzato, con culture arboree autoctone/alloctone ed erbacee.

La progettazione delle riprese, effettuata secondo criteri il più possibile simili a tradizionali piani di volo per blocchi fotogrammetrici, deve però tener conto delle forti differenze di velivoli e sensori.

Tenuto conto di quote di volo e autonomia limitate, si è progettato il rilievo di un'area di circa  $120 \times 100 \text{ m}^2$ . Il basso payload dei droni impedisce di effettuare le riprese con più camere simultaneamente. Le differenti dimensioni dei sensori, inoltre, producono differenti ingombri a terra,

anche in termini di GSD. Infine, la minore accuratezza nel controllo della posizione del drone al momento dello scatto, si ripercuote nella difficoltà di seguire con l'usuale precisione la disposizione dei centri di presa e degli angoli di assetto previsti.

Per questi motivi, le prese sono state progettate con forti sovrapposizioni longitudinali e trasversali, ed a differenti quote per i diversi sensori, per massimizzare la sovrapponibilità delle singole immagini. Si prevede, in ogni caso, di sviluppare un procedimento di coregistrazione per l'utilizzo delle informazioni multispettrali.

Sono stati utilizzati due velivoli (elicottero Helicam e Microdrone-MD4-200) che hanno differenti caratteristiche di controllo del volo. Il primo (su cui è stata montata una Canon EOS 5D) non prevede sistemi di navigazione e viene teleguidato da operatore a terra che effettua anche il controllo delle prese, mentre il secondo ha un sistema di navigazione che consente di seguire un piano di volo preimpostato, con programmazione dello scatto raggiunta la posizione prevista.

Con il drone MD4-200 sono state effettuate più riprese, con camera amatoriale Pentax Optio AD40, con camera SIGMA DP1 modificata per acquisire solo la componente NIR dello spettro, e con Tetracam ADClite, sensibile alle radiazioni Rossa, Verde e IR vicino (immagini CIR).

Le riprese sono state realizzate a una quota di circa 60 m con forti ricoprimenti longitudinali (90%) e trasversali (40%). Un elevato numero di punti di appoggio e controllo presegnalizzati, le cui coordinate sono state determinate con GPS, consentirà di condurre analisi di precisione dell'orientamento del blocco delle immagini. Per ogni camera sono state anche effettuate le riprese di pannello test per la calibrazione.

Attualmente è in corso la fase di analisi e triangolazione del blocco di 36 immagini, suddivise in tre strisciate, sia per validare la geometria di ripresa, finalizzata alla ricostruzione 3D del territorio, sia per validare la qualità della ripresa effettuata con camera ADClite della Tetracam in grado di fornire, in un'unica immagine, sia le componenti visibili sia la componente infrarossa dello spettro elettromagnetico.

A tal proposito, vengono utilizzati differenti software di orientamento: LPS (Leica Photogrammetry Suite), Gcarto e Photomodeler per mettere in evidenza punti di forza e

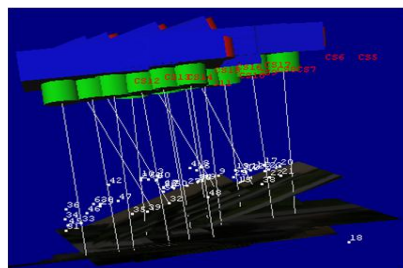


Figura 7 – Photomodeler: geometria di presa dei fotogrammi.

lacune di ciascun prodotto nella gestione di immagini aeree non convenzionali. I *software* fotogrammetrici commerciali ad oggi disponibili, infatti, non supportano ancora direttamente il processamento di immagini da droni, che possono essere affette da cambiamenti di illuminazione, orientamento e scala più marcati delle tradizionali immagini aeree, aspetto che introduce talvolta qualche difficoltà in più già in fase di orientamento dei fotogrammi

### **Conclusioni**

Il progetto di ricerca sta entrando nella sua fase più operativa: è infatti giunto alla produzione del WP11 (Realizzazione del sistema ortofotografico georeferenziato) nel quale il Politecnico di Milano è capofila, dei 23 previsti. Tutti i WP precedenti sono stati completati con successo e sono state realizzate anche importanti attività di supporto alle realizzazioni dei prossimi WP: ne sono testimonianza le attività svolte sull'area test di Medolago; dall'elaborazione delle immagini riprese con differenti sensori, alloggiati su due differenti droni, si spera di poter estrarre importanti informazioni utili per l'avvio del secondo anno di ricerca, quello che dovrà condurre alla produzione del prototipo finale. Già da subito è da sottolineare l'importanza, nella realizzazione delle riprese, di un sistema di navigazione basato su tecnologia GPS/INS unitamente ad un *software* di ripresa automatica delle immagini, in grado di eseguire autonomamente le strisciate e gli scatti precedentemente progettati in ambiente GIS.

È anche importante rimarcare il buon grado di compartecipazione dei vari partner del progetto alla realizzazione dei WP fino ad ora realizzati, partner che non avevano mai tra loro collaborato a causa delle differenti competenze professionali e scientifiche di base.

### **Riconoscimenti e ringraziamenti**

È doveroso ringraziare per il coordinamento dell'intero progetto l'ing. Matteo Baracani di Como Next; per il contributo alla stesura del progetto e la realizzazione dei primi WP i referenti delle aziende coinvolte: A. Biffi per Coclea, ing. D. Airoidi per Magnetic Media Network, R. Annoni per Start, S. Pulejo per Volovisione.

### **Bibliografia**

- Barazzetti L., Remondino F., Scaioni M., Brumana R. (2002), "Fully automatic UAV image based sensor orientation", International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), vol. XXXVIII;
- Eisenbeiss H (2009), "UAV Photogrammetry", Ph.D. thesis, Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zürich. Zurich, Switzerland;
- Gini R. (2010), "Processing of high resolution and multispectral aerial images for forest DSM production and tree classification", Master thesis, Master of Science in Environmental and Land Planning Engineering, Politecnico di Milano, Italy;
- Herwitz S.R., Johnson L.F., Higgins R.G., Leung J.G., Dunagan S.E. (2002), "Precision agriculture as a commercial application for solar – powered Unmanned Aerial Vehicles", AIAA Technical Conference and Workshop on Unmanned Aerospace Vehicles, Systems, Technologies and Operations. Portsmouth, Great Britain;
- Zhang C. (2008), "An UAV-based photogrammetric mapping system for road condition assessment", The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. XXXVII, part B5. Beijing, China.



## **Moka Demanio Idrico**

Catia Godoli (\*), Giovanni Ciardi (\*\*), Roberta Maltoni (\*\*\*)

(\*) Direzione Ambiente e Difesa del Suolo e della Costa -Regione Emilia-Romagna

Viale della Fiera 8, 40127 Bologna, Tel. 051-5276879, Fax 051-5276813, e-mail: cgodoli@regione.emilia-romagna.it

(\*\*) Servizio Sviluppo dell'Amministrazione Digitale e Sistemi Informativi Geografici-Regione Emilia-Romagna

Viale Silvani 4/3, 40122 Bologna, Tel. 051-5274868, Fax 051-5274216, e-mail: gciardi@regione.emilia-romagna.it

(\*\*\*) Semenda S.r.l., Via Santi 14, 41123 Modena, Tel. 059333022, Fax 059333084

e-mail: roberta.maltoni@semenda.it

### **Descrizione sintetica**

L'applicazione MOKA Demanio Idrico implementa funzioni di georeferenziazione delle risorse demaniali oggetto di procedure di concessione e la rappresentazione, elaborazione ed analisi delle entità cartografiche corrispondenti. E' integrata con il sw SISTEB, che gestisce gli iter di rilascio concessione, per garantire una rappresentazione cartografica congruente con la realtà amministrativa e supportare le attività di verifica, previste dai regolamenti regionali, tramite l'integrazione della cartografia di riferimento(CTR, reticolo idrografico, confini amministrativi, ortofoto e foto satellitari, catasto,...). Implementa la banca dati del Demanio Idrico regionale e strumenti di analisi spaziale a supporto delle attività di monitoraggio ambientale e di pianificazione e regolamentazione. Le funzionalità dell'applicazione sono state definite e verificate in collaborazione con i tecnici dei Servizi Regionali competenti per il Demanio Idrico.

### **Abstract**

The Regional authority of Emilia-Romagna manages licences to allow use of State property natural resources , such as water and areas. An application sw named SISTEB has been delivered to the technical departments "Servizi Tecnici di Bacino(STB)", in charge of administrative procedures handling, to support their activities. Now they need spatial analyses and a new web GIS application has been developed to represent, process, store and analyze geographic entities corresponding to State property natural resources . The web GIS application has been delivered in July 2011 and supports evaluations of impact on environment according to regional rules, through integration of reference maps ( idrography, river basin districts, administrative boundaries, orthoimagery, cadastral parcels). The application has been implemented by using the Content Management System MOKA developed by Semenda ([www.mokaGIS.it](http://www.mokaGIS.it)) in agreement with Regional Authority of Emilia-Romagna . MOKA and the specific application Moka Demanio Idrico are integrated with regional GIS network services infrastructure, including geographic data sets and metadata repositories, which store official updated information- in compliance with European directive INSPIRE- and with Sigmater services.

### **Le finalità di progetto**

A seguito del trasferimento delle competenze sul demanio idrico da parte dello Stato, la Regione Emilia-Romagna gestisce direttamente, attraverso i Servizi Tecnici di Bacino (STB), le relative concessioni sul territorio di competenza. Il demanio idrico ricomprende le risorse idriche -sorgenti, pozzi e prelievi da corpi idrici superficiali- e le aree demaniali-pertinenze ed attraversamenti. La Direzione Ambiente e Difesa del Suolo e della Costa già dal 2003 ha sviluppato il sw applicativo SISTEB per supportare i tecnici regionali nella gestione degli iter di concessione in conformità con i regolamenti regionali e implementare la banca dati del Demanio Idrico Regionale, articolata in

componenti descrittive delle risorse ambientali oggetto di concessione e dati amministrativi. L'applicativo in uso presenta però limiti nel supportare le verifiche sulle caratteristiche del territorio in cui si collocano le risorse chieste in concessione ai fini della definizione o meno della concessione stessa e la creazione di un quadro conoscitivo aggiornato riferito all'ambito territoriale, necessario per il monitoraggio dell'impatto antropico sull'ambiente e per le attività di pianificazione e regolamentazione.

Per superare i limiti sopra dichiarati e tenendo conto del principio - su cui si basa la direttiva europea INSPIRE - che le risorse ambientali per loro stessa natura sono riferite al territorio, si è deciso di sviluppare funzioni GIS per la georeferenziazione delle risorse demaniali e la loro rappresentazione ed elaborazione su base territoriale. Per supportare le verifiche di contesto territoriale richieste per il rilascio delle concessioni e fornire un quadro conoscitivo sempre aggiornato si è valutato necessario che le funzionalità GIS fossero integrate con l'applicazione gestionale per garantire congruenza della rappresentazione cartografica con la realtà amministrativa. Ulteriore obiettivo da conseguire era rendere fruibile ai tecnici che gestiscono il rilascio delle concessioni e ai responsabili delle attività di coordinamento/ pianificazione la cartografia di riferimento "ufficiale ed aggiornata", ovvero la cartografia resa disponibile dai rispettivi titolari come previsto dalla direttiva INSPIRE, in quanto funzionale alla definizione delle decisioni amministrative sul rilasciare o meno concessioni d'utilizzo delle risorse ambientali. Obiettivo di progetto era anche il riutilizzo al massimo livello dell'importante infrastruttura di servizi GIS sviluppata in Regione Emilia-Romagna per concentrare gli investimenti -finanziari e di personale- solo sulle componenti applicative specialistiche, riducendo quindi i costi di progetto. Fra le finalità c'era anche contribuire a diffondere la cultura sugli strumenti GIS, allargandone la conoscenza attraverso applicazioni informatiche di utilizzo relativamente semplice e quindi fruibili anche da personale non specializzato in GIS. L'aspetto di crescita culturale, know-how e capacità d'utilizzo delle applicazioni GIS è assolutamente strategico per potere analizzare i dati sullo stato dell'ambiente e la pressione antropica e quindi potere operare scelte di indirizzo e regolamentazione per uno sviluppo sostenibile, nonchè interagire con il livello europeo ed è già stato oggetto di percorsi formativi sviluppati dalla Direzione Ambiente e Difesa del Suolo e della Costa.

### **La Scelta tecnologica**

Tenendo conto degli obiettivi da conseguire si è scelto di utilizzare per la realizzazione dell'applicazione GIS il CMS MOKA che si appoggia a tecnologia ESRI ed è stato sviluppato da Semenda nell'ambito di una convenzione con la Regione Emilia Romagna, che prevede anche un cofinanziamento degli sviluppi evolutivi a garanzia di una piena congruità dell'ambiente con l'infrastruttura Regionale e la normativa di riferimento vigente. Perché la scelta di MOKA:

- implementa e rende disponibili una serie di funzionalità di base quali posizionamento sul territorio in base a più parametri (Provincia, Comune, Via e Civico, toponimi della CTR, estremi catastali,...), interrogazione delle entità territoriali e visualizzazione della tabella correlata alla cartografia vettoriale, strumenti di stampa, impostazione della scala di visualizzazione. Inoltre rende disponibili moduli funzionali di interesse già prodotti per altre applicazioni semplificando quindi lo sviluppo;

- è uno strumento web GIS e quindi possono essere utilizzate dagli utenti le postazioni di lavoro in dotazione senza esigenza di configurazioni particolari di hw e sw specialistici client;

- per l'utilizzo non sono richieste connessioni di rete a banda larga e questo è un aspetto significativo considerando che le 10 sedi dei 4 Servizi Tecnici di Bacino sono dislocate sul territorio a livello provinciale;

- è integrata con il repository cartografico Regionale e quindi rende consultabile tutta la cartografia "ufficiale ed aggiornata" in esso depositata;

- è integrata con il repository Regionale dei metadati realizzato in congruenza con la direttiva INSPIRE e gli standard del repository cartografico nazionale istituito ai sensi del Codice della PA Digitale e questo garantisce agli utenti la possibilità di avere consapevolezza dei livelli di completezza ed aggiornamento della cartografia di riferimento consultata per il rilascio delle concessioni;



-è integrata con SIGMATER e consente quindi la fruizione della cartografia catastale “ufficiale ed aggiornata”, di particolare rilievo per la delimitazione delle aree demaniali e per la georeferenziazione di risorse spesso indicate dai richiedenti la concessione attraverso i riferimenti catastali;

- è predisposta per la pubblicazione in Internet delle informazioni georeferenziate che si riterrà opportuno divulgare ed integrata con il geoportale della Regione Emilia Romagna; questo aspetto è rilevante in quanto il Dlgs 195/2005 sull’accessibilità al pubblico dell’informazione ambientale ne prevede la progressiva messa a disposizione in Internet;

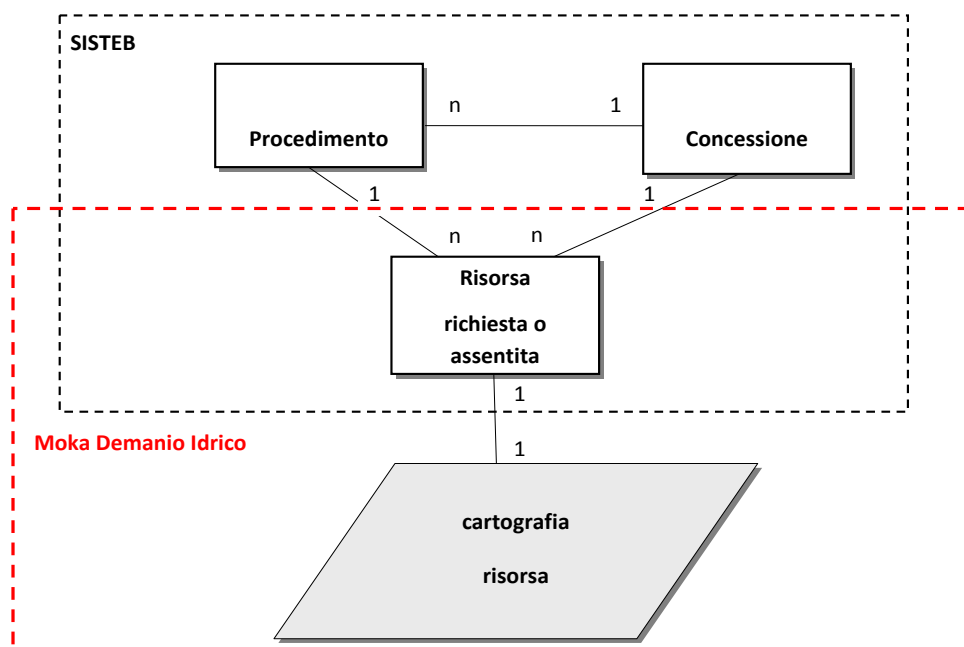
-è un ambiente configurato e mantenuto aggiornato sui sistemi del CED Regionale dal Servizio PA Digitale e Sistemi Informativi Geografici e quindi non sussistono i costi in termini economici e di personale per la D.G. Ambiente e Difesa del Suolo e della Costa per la gestione dell’infrastruttura, ma sussistono solo i costi di sviluppo applicativo;

-fornisce strumenti di supporto alla programmazione e ne riduce quindi costi e tempi realizzativi;

-è fruibile in riuso da parte di tutte le P.A. e questo ne favorisce l’adozione da parte degli Enti sul territorio Regionale e quindi la creazione di un ambiente condiviso di sviluppo e fruizione dei tematismi cartografici.

### **L’applicazione MOKA Demanio Idrico**

L’applicazione MOKA Demanio implementa come principali funzionalità i servizi per l’analisi dell’area territoriale coinvolta nella richiesta di concessione mediante l’uso della cartografia regionale di riferimento, l’inserimento dei riferimenti territoriali delle risorse oggetto di procedure di concessione in una banca dati centralizzata e la rappresentazione su mappe tematiche delle risorse richieste e di quelle assentite in concessione. Le geometrie delle risorse sono esclusivamente gestite nell’applicazione MOKA –Demanio Idrico che dialoga con l’applicativo gestionale SISTEB per correlare i dati amministrativi e tecnici che si riferiscono alle risorse rappresentate, pertanto le diverse tipologie d’informazione vengono gestite con gli specifici strumenti informatici ritenuti ottimali quindi il GIS per le geometrie e l’applicazione gestionale alfanumerica per gli iter amministrativi. La relazione fra le entità gestite nell’applicazione gestionale e le entità cartografiche a queste logicamente correlate in MOKA Demanio è esemplificata nel seguente schema di seguito riportato.



Ad ogni pratica amministrativa è collegata una o più risorse per le quali viene richiesta la concessione all'utilizzo: per ogni risorsa richiesta è presente un elemento di cartografia consono al tipo di risorsa quindi ad es. un punto per rappresentare un pozzo, un poligono per rappresentare un'occupazione ed una linea per rappresentare un attraversamento in area demaniale. Quando la pratica si conclude con una concessione per ogni risorsa assentita è presente un elemento in cartografia non necessariamente coincidente per forma o dimensioni a quanto precedentemente richiesto; ad es. la posizione in cui viene data la concessione al prelievo di acque sotterranee tramite un pozzo può differire dalla posizione in cui era stata richiesta perché quest'ultima era troppo vicina ad un pozzo preesistente.

Le geometrie possono essere definite con diverse modalità tenendo conto anche delle diverse organizzazioni e prassi operative dei diversi STB: con edizione direttamente in MOKA Demanio, con importazione da shape file elaborato in ambiente client GIS o CAD e da file ASCI generato da strumentazione GPS utilizzata per i rilievi/controlli sul campo; l'approccio garantisce il riutilizzo massimo delle informazioni già elaborate negli ambienti CAD utilizzati dai tecnici degli STB per i rilievi sul territorio e la perimetrazione delle aree - purché georeferenziate - senza richiedere un'aggiuntiva conoscenza specialistica delle applicazioni GIS a supporto di obiettivi di efficacia ed efficienza. Ad ogni geometria punto, linea o area rappresentante una risorsa viene associato il numero della pratica.

I principali tematismi di riferimento identificati come significativi e configurati in MOKA Demanio: confini amministrativi, mappe catastali CTR 5.000, 25.000, 250.000 e come tematismi vettoriali toponomastica, reticolo di dettaglio e bacini idrografici, canali di bonifica. Sono inoltre consultabili le ortofoto e foto satellitari: Ortosat 2003, Ortoaagea dal 2000 al 2008. Per la valutazione dei vincoli ambientali sono consultabili la cartografia dei parchi-Natura 2000 e le cartografie PSAI su rischio idraulico e assetto della rete idrografica e rischio frane e assetto dei versanti nonché dei vincoli idrogeologici. Per le singole cartografie di riferimento può essere deciso da ogni operatore di visualizzarle o meno a seconda dell'analisi territoriale che intende approfondire.

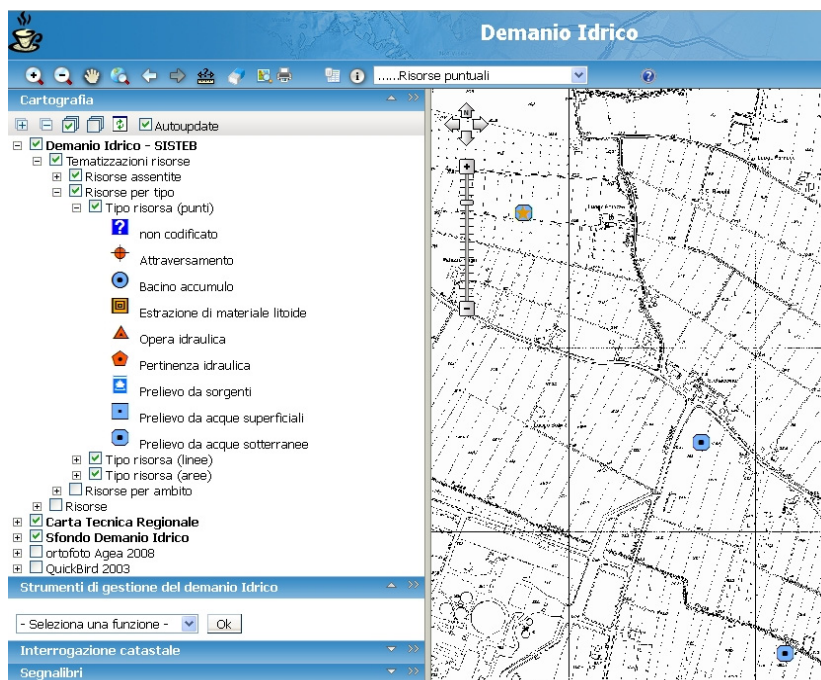
Sono previste diverse tematizzazioni per la rappresentazione delle risorse demaniali basate su tipo risorsa, stato della concessione in corso, in essere scaduta, revocata, tipo utilizzo e si riportano di seguito due esempi di tematizzazione uno per risorse idriche e l'altro per aree demaniali.

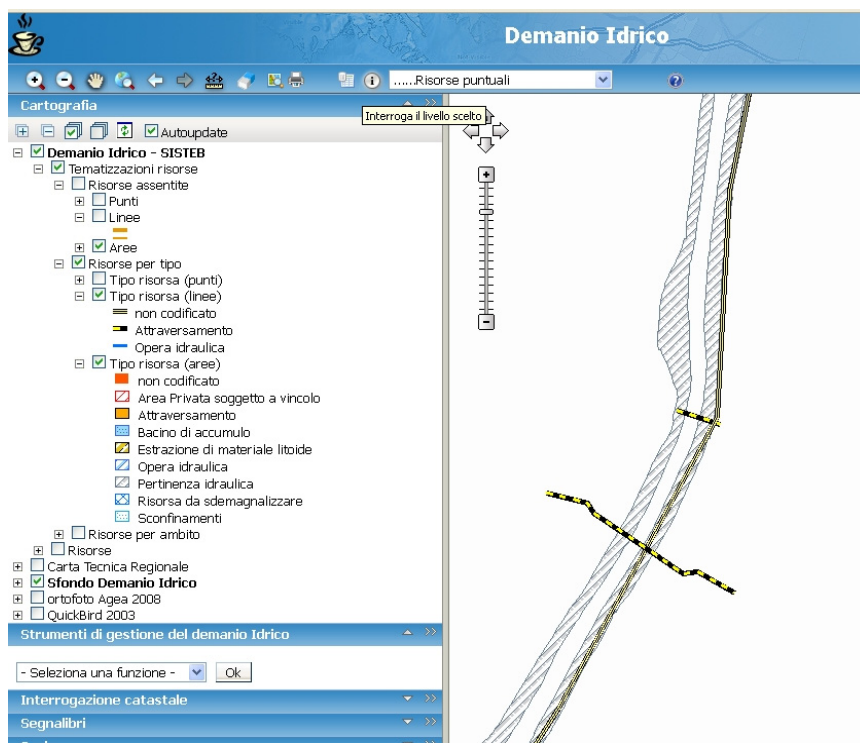
- ☒ **Demanio Idrico - SISTEB**
    - ☐ Tematizzazioni risorse
    - ☒ Risorse
      - ☒ Risorse puntuali
        - Assentita
        - In assentimento
        - ✗ Negata
        - ▲ Risorsa non oggetto di procedimento/concessione
      - Richiesta
    - ☒ Risorse poligonali
      - Assentita
      - In assentimento
      - Negata
      - Richiesta
    - ☒ Risorse lineari
      - Assentita
      - In assentimento
      - Negata
      - Richiesta
  - ☒ **Carta Tecnica Regionale**
    - ☐ Ctr 5,000
 

Value  
 High : 255  
 Low : 0
    - ☐ Ctr 25,000
    - ☐ Ctr 250,000

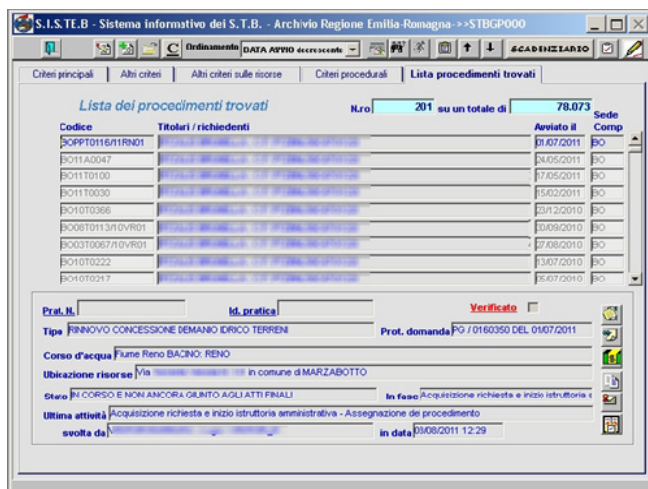
- ☒ **Sfondo Demanio Idrico**
    - ☒ Limiti amministrativi
      - ☒ Province
        - Comuni
      - ☒ STB (provvisorio)
        - STB AFFLUENTI DEL PO
        - STB CONCA MARECCHIA
        - STB FIUMI ROMAGNOLI
        - STB PO DI VOLANO
        - STB RENO
    - ☒ Limiti extra regionali
      - Regione
        - Regioni confinanti
        - Mari
  - ☐ Idrografia
  - ☐ Aree demaniali
  - ☐ Pianificazione territoriale
  - ☐ Catasto
  - ☒ **ortofoto Agea 2008**
    - ☐ ortofoto AGEA 2008
 

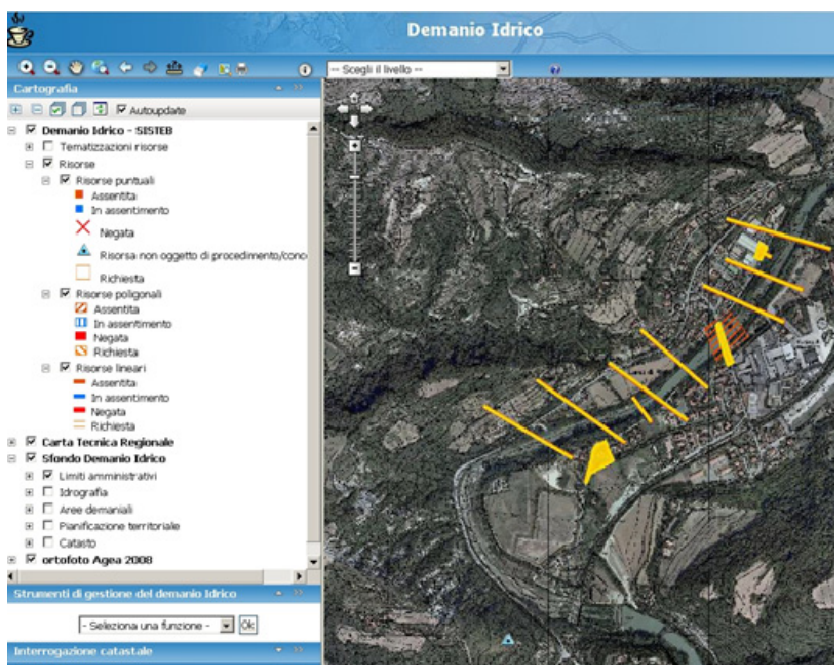
RGB
 
      - Red: Band\_1
      - Green: Band\_2
      - Blue: Band\_3
    - ☐ QuickBird 2003





L'utente può richiamare l'applicazione MOKA Demanio dall'interno dell'applicazione SISTEB per visualizzare o inserire nuove risorse: la mappa viene visualizzata con posizionamento di default nell'area in cui sono collocate le risorse. Nell'attivare le funzioni GIS vengono pienamente sfruttate le maschere di ricerca parametriche e molto articolate già presenti nel sw gestionale per definire i criteri di selezione delle risorse che si vuole visualizzare in ambiente GIS. L'utente può altresì accedere anche direttamente al MOKA tramite userid e password ed utilizzarne le funzioni native di ricerca e rappresentazione delle informazioni sui tematismi ambientali.

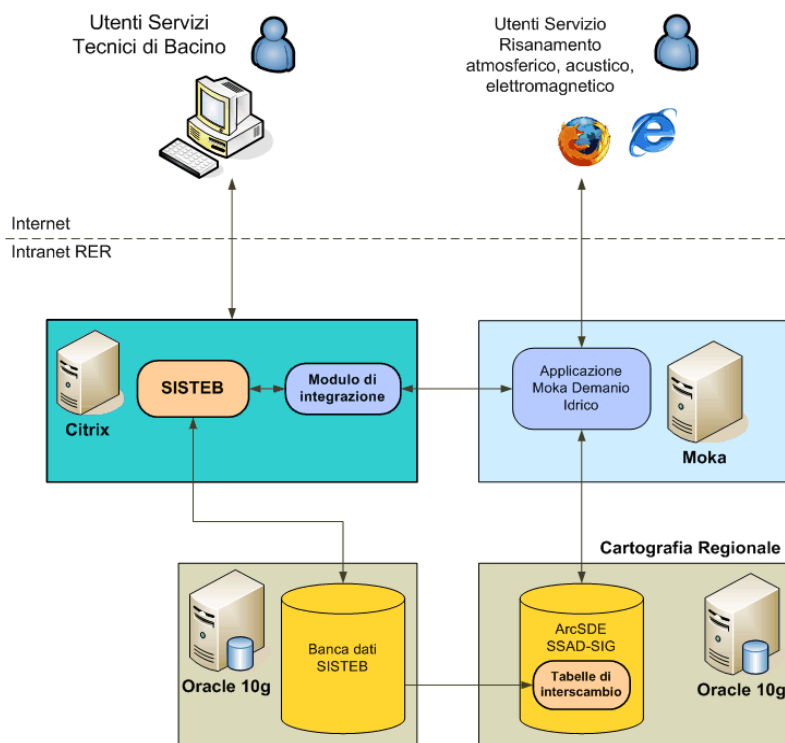




L'applicativo MOKA Demanio è stato attivato in produzione nel luglio 2011 dopo una fase di configurazione in ambiente di test per consentirne una valutazione di funzionalità e prestazioni da parte degli stessi utenti finali. Sono stati recuperati in MOKA Demanio all'atto della messa in produzione le coordinate geografiche che erano state registrate in alfanumerico nell'applicativo gestionale per le risorse idriche ed anche tutto quanto georeferenziato con strumenti GIS, con identificazione della risorsa, relativamente alle aree demaniali. Complessivamente ad oggi sono state associate le geometrie a 18.000 derivazioni di risorse idriche e 4.900 occupazioni/attraversamenti di aree demaniali; è comunque ancora da completare la l'informatizzazione delle pratiche di concessione e la georeferenziazione delle relative risorse.

### L'architettura

Nello schema di seguito riportata viene schematizzata l'architettura del sistema integrato MOKA Demanio e applicativo gestionale SISTEB.



Le due applicazioni però dialogano per garantire informazioni complete e consistenti nonché aggiornate; i meccanismi di dialogo sono basati su una tabella di interscambio contenente dati relativi a procedimenti, concessioni e risorse, mantenuta aggiornata tramite trigger in ambiente Oracle all'interno della banca dati di SISTEB. La soluzione descritta è stata adottata perché SISTEB è stato sviluppato nel 2003 come applicazione client/server centralizzata sul CED regionale mediante CITRIX e la tecnologia realizzativa non consente l'interfacciamento diretto a funzioni Moka mediante WebService.

### Gli utenti

Gli utenti abilitati in consultazione su MOKA Demanio Idrico sono complessivamente 170, di cui solo una parte con abilitazione a inserire le geometrie delle risorse. Si tratta principalmente di tecnici ed amministrativi degli STB che gestiscono il rilascio delle concessioni e collaboratori dei Servizi regionali che presiedono le attività di pianificazione e regolamentazione sull'uso delle risorse ambientali demaniali.

L'attivazione in produzione del Moka Demanio è stata accompagnata da un intervento formativo indirizzato a due persone di riferimento per ciascuna delle 10 sedi in cui si articolano gli STB, una per le aree demaniali ed una per le risorse idriche. Ulteriori interventi formativi hanno coinvolto anche gli altri utenti e si intende inoltre proseguire nel tempo con interventi di affiancamento agli operatori. Occorre infatti tenere conto del fatto che la diffusione dell'utilizzo delle funzionalità GIS da parte di "non specialisti GIS" ha carattere innovativo e deve essere adeguatamente supportata; a questo scopo sono stati realizzati anche moduli formativi in e-learning consultabili in ogni momento da parte degli utenti. L'introduzione dell'applicativo Moka Demanio ha anche valenza culturale perché si vuole promuovere, congiuntamente con altre iniziative, la conoscenza e l'utilizzo degli strumenti GIS per la gestione delle politiche ambientali, in congruenza con quanto previsto dalla direttiva europea INSPIRE.