

IL TELERILEVAMENTO: STRUMENTO EFFICIENTE NELLE VERIFICHE PER L'ATTUAZIONE DEL PROTOCOLLO DI KYOTO

Michele Bocci (*), Olga RENDA (*), Vanessa TEDESCHI(**), Antonio LUMICISI (**), Espen VOLDEN (***), Dario PAPAIE (****)

(*) Intecs Informatica e Tecnologia del Software S.p.A., Pisa, olga.renda@pisa.intecs.it, bocci@tin.it

(**) Direzione per la Ricerca Ambientale e lo Sviluppo del Ministero per l'Ambiente e la Tutela del Territorio e del Mare, vanessa.tedeschi@tfambiente.it

(***) European Space Agency, ESA – ESRI, Via Galileo Galilei, 00044 Frascati (Roma), Italy, Espen.Volden@esa.int

(****) Di.S.A.F.Ri. - Università degli Studi della Tuscia, Viterbo darpa@unitus.it

Riassunto

Il Protocollo di Kyoto, obbliga i suoi firmatari a stimare le variazioni delle quantità di carbonio dovute ad attività di Cambiamento di Uso del Suolo (LUC) e selvicolturali rispetto all'anno base (1990). Ciò implica la necessità di classificare l'Uso del Suolo, stimare le aree forestate, e individuare le attività di Afforestazione, Riforestazione, Deforestazione (ARD) rispetto al '90.

In risposta a queste esigenze l'Agenzia Spaziale Europea ha finanziato due progetti (Kyoto Inventory e GSE Forest Monitoring) con il preciso obiettivo di realizzare dei servizi operativi, basati sull'Osservazione della Terra (*Earth Observation*) già durante il primo periodo di impegno (2008-2012).

Abstract

The Protocol of Kyoto obligates its signers to estimate the variations of the carbon amounts due to activity of Land Use, Land Use Change and Forestry (LULUCF) regarding estimated quotas in the baseline year (1990). This implies the necessity of classifying the Land Use (according to classes indicated by the Protocol), to estimate the forested areas, and to characterize the activities of Afforestation, Reforestation, Deforestation (ARD) regarding the 90th. To this extent, the European Space Agency financed two projects (Kyoto Inventory and GSE Forest Monitoring) with the aim of implementing EO Based services that will be operative at the beginning of the first commitment period (2008-2012).

Contesto Internazionale e Caso Italiano

La vegetazione costituisce una componente essenziale del ciclo globale del carbonio: ogni anno i processi fotosintetici sottraggono infatti all'atmosfera circa 60 Gt di carbonio (pari a 10 volte le emissioni legate all'impiego di combustibili fossili da parte dell'uomo), che costituiscono lo scheletro indispensabile per la produzione di sostanza organica vegetale e quindi per la vita stessa di tutta la biosfera.

Gran parte di questo carbonio viene annualmente rilasciato di nuovo nell'atmosfera, a causa della respirazione delle piante e della decomposizione dei tessuti vegetali morti da parte dei microrganismi del suolo. Il bilancio fra i due processi si chiude comunque in positivo: a livello globale i soli ecosistemi terrestri rimuovono annualmente dall'atmosfera 2-4 Gt di carbonio, aiutando a controbilanciare gli effetti delle emissioni antropogeniche e della deforestazione tropicale (Schimel et al. 2001).

Per quanto riguarda l'Italia, il Ministero dell'Ambiente prevede un contributo positivo di 10.2 Mt CO₂ all'anno dalle attività legate a cambiamenti di Uso del Suolo e gestione forestale. Di questi, si assume che 1 Mt CO₂ all'anno possa costituire il contributo degli interventi di afforestazione e riforestazione già realizzati a partire dal 1990, mentre altri 2 Mt CO₂ anno⁻¹ dovrebbero venire da impianti di nuova realizzazione, equamente distribuiti fra interventi di arboricoltura e interventi di riforestazione su aree soggette a dissesto idrogeologico, previsti dalla legge 183/89 (Magnani 2005). La ricolonizzazione indotta da parte della vegetazione forestale negli ex-coltivi contribuirebbe per 3 Mt CO₂ anno⁻¹, mentre altri 4.1 Mt CO₂ anno⁻¹ deriverebbero dalla gestione

forestale¹. Il contributo di terre agricole e pascoli è stato valutato conservativamente pari a di 0.1 Mt CO₂ anno⁻¹.

Il Protocollo di Kyoto, con cui l'Italia si è impegnata a rispettare una riduzione entro il periodo 2008-2012 (*Primo periodo di impegno*) del 6.5 % delle emissioni di CO₂ rispetto al valore registrato nel 1990, prende in considerazione questo importante contributo e obbliga i suoi firmatari a stimare le variazioni delle quantità di carbonio dovute ad attività di Cambiamento di Uso del Suolo (*Land Use Change*, abbr.LUC) e selvicolturali (*Forestry*, abbr. F) rispetto all'anno base (1990). Ciò implica la necessità di classificare l'Uso del Suolo (*Land Use*, abbr. LU), stimare le aree forestate, e individuare le attività di Afforestazione, Riforestazione, Deforestazione (ARD) rispetto al 1990. L'art. 3.3 del Protocollo, infatti prevede la possibilità per i Paesi firmatari di controbilanciare le emissioni antropiche con attività di riforestazione (nel caso di ricostituzione della foresta in aree recentemente deforestate, ma comunque prima del 1990) o di afforestazione (nel caso di interventi su terreni non precedentemente forestati da almeno 50 anni) che risultino nella immobilizzazione della CO₂ nell'ecosistema forestale, sotto forma di biomassa vegetale o di sostanza organica del suolo. L'articolo 3.4, inoltre, prevede la possibilità di detrarre dalle emissioni antropogeniche nazionali il carbonio aggiuntivo fissato dalla vegetazione in conseguenza di politiche di gestione attive.

In risposta alle esigenze indotte dal Protocollo in materia di monitoraggio delle attività di LULUCF, l'Agenzia Spaziale Europea (ESA) ha finanziato due progetti (Kyoto Inventory e GSE Forest Monitoring) con il preciso obiettivo di realizzare dei servizi operativi già durante il primo periodo di impegno. Entrambi i progetti hanno coinvolto Utenti di diversi paesi europei e, per il caso Italiano in particolare, la Direzione per la Ricerca Ambientale e lo Sviluppo del Ministero per l'Ambiente e la Tutela del Territorio e del Mare, che di concerto con gli altri Ministeri coinvolti è responsabile del Piano Nazionale di riduzione dei GAS a effetto serra.

Progetto Kyoto-Inventory

Il progetto [Kyoto-Inventory](#) (KYOTO-INV) aveva l'obiettivo di sviluppare servizi a supporto alle attività degli Enti Istituzionali deputati al monitoraggio delle attività LULUCF nell'ambito della Convenzione Quadro delle Nazioni Unite sui Cambiamenti Climatici e del Protocollo di Kyoto (UNFCCC).

I servizi realizzati utilizzano tecnologie di Osservazione della Terra (EO). Il progetto, infatti, fa parte del programma Data User Element (DUE) dell'ESA, il cui scopo è favorire la crescita dell'utenza per EO.

Il progetto è stato realizzato da un consorzio in maggioranza italiano condotto da Intecs Informatica e Tecnologia del Software S.p.A e nell'arco di un anno, il servizio realizzato ha coperto più di 200.000 km² nei territori Italiano, Olandese, Finlandese, Norvegese, Spagnolo e Svizzero per tre date differenti: 1990 (anno di riferimento), 1997 (1984 per NL) e 2002.

La partecipazione e l'interesse degli utenti durante il progetto hanno reso possibile l'inserimento del servizio nella fase 2 del progetto GSE Forest Monitoring, iniziato in ottobre 2005. Il progetto [GSE-Forest Monitoring](#) (abbr. GSE-FM), infatti, rientra nelle iniziative di ESA ideate nell'ambito del GMES (Global Monitoring for Environment and Security) a sostegno delle convenzioni internazionali a tutela dell'ambiente. Il GSE-FM nasce nel 2003 e dopo una prima fase di studio integrato dei requisiti e di consolidamento di servizi già esistenti (2003-2004), è entrato nella fase di

^{1 1} Il valore relativo alle potenzialità di assorbimento del C da parte delle attività di gestione forestale ha recentemente subito una revisione (Maggio 2006) ed è stato fissato a 10.2 Mt CO₂ eq, così come le potenzialità di assorbimento del C da parte delle terre agricole e pascoli, per un totale relativo alle attività di uso del suolo e selvicolturali pari a 16.9 Mt CO₂ eq. Le variazioni nei valori verranno riportate nell'aggiornamento della Delibera CIPE 123/02, attualmente in corso.

scaling-up, cioè di ampliamento dei servizi, sia in termini di differenziazione dei prodotti che in termini di maggiore copertura.

In questo contesto Intecs sta realizzando la copertura di Uso del Suolo per tutte le regioni. L'anno 1990 verrà completato entro la prima metà del 2007, in modo da fornire il dato completo al Ministero per l'Ambiente e la Tutela del Territorio e del Mare che l'utilizzerà per il Registro Nazionale dei Serbatoi di Carbonio agro-forestali.

Il progetto è realizzato da un consorzio internazionale di più di 20 Aziende, condotto dalla ditta tedesca GAF e conta 16 utenti Europei e 2 utenti in Sud Africa e Asia .

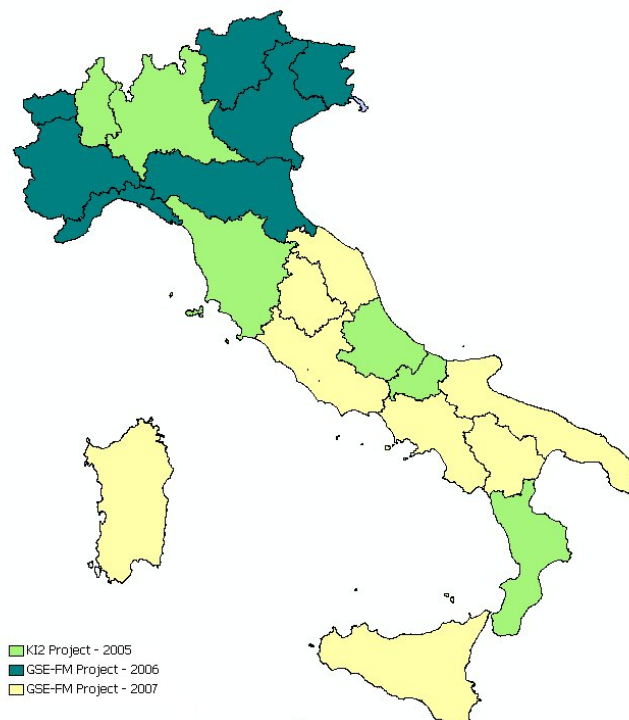


Figura 1 - Copertura del servizio Italiano in Kyoto-Inventory e in GSE-FM

Prodotti

A partire dai requisiti utente, è stato definito un insieme di prodotti basati su dati EO, che nel caso Italiano sono le carte di Uso del Suolo (LUM) per il 1990 e di Cambiamento di Uso del Suolo (LUC) per gli anni relativi al primo periodo di impegno.

Le seguenti tabelle sintetizzano le caratteristiche dei prodotti:

Tabella 1 - Requisiti, Specifiche e Soglie di accettabilità

Criterio	Specifiche	Soglia di accettabilità (se esiste)
Prodotto: ILUM		
Accuratezza Geometrica	RMS <= 0.5 pixel (15 m)	RMS <= 1 pixel (30 m)
Area Minima di Riferimento	0.5 ha	
Accuratezza Tematica	95% Accuratezza complessiva	Non inferiore a 90%
Prodotto ILUCM		
Accuratezza Geometrica	RMS <= 0.5 pixel (15 m)	RMS <= 1 pixel
Sistema di Riferimento	UTM 32, 33 , WGS84	
Accuratezza Tematica	90% Accuratezza Complessiva	

Tabella 2 - Definizione delle Classi di Uso del Suolo

Classe	Definizione
Forest	Bosco (Foresta): terreno di area minima di mezzo ettaro (0,5 ha) con copertura

Classe	Definizione
	arborea di più del dieci per cento (10%) con alberi con altezza potenziale a maturità, in situ, di almeno cinque metri (2 m). Un bosco alto può consistere in formazioni forestali chiuse, dove gli alberi dei vari strati coprono un'alta porzione del suolo, oppure in formazioni forestali aperte.
Cropland	Terre agricole: insieme dei terreni investiti a seminativi, orti, coltivazioni legnose agrarie.
Grassland	Pascoli: insieme dei prati permanenti e dei pascoli e di tutte quelle superfici arborate e/o cespugliate che non rientrano nelle altre categorie.
Settlement	Urbano: tutte le aree coperte da insediamenti urbani, comprese le infrastrutture viarie, e che non rientrano nelle altre categorie.
Water and Wetland	Acqua e zone umide: le terre coperte o saturate dall'acqua per tutto, od un periodo, dell'anno e che non rientrano nelle altre categorie.
Unproductive	Improduttivo (senza vegetazione): i suoli nudi, le aree rocciose, gli arenili i ghiacciai e tutte quelle aree della superficie nazionale che non rientrano nelle precedenti categorie.

Metodologia

I dati da satellite utilizzati sono ad alta risoluzione ottici rilevati LANDSAT. Sono state condotte delle sperimentazioni anche su SPOT e CHRIS. Per ogni anno elaborato sono state acquisite coppie di immagini per consentire l'analisi multitemporale *season-to season*. Le immagini sono state scelte in modo da garantire la minima copertura nuvolosa. Dove necessario sono state acquistate delle immagini aggiuntive. Nella seguente Fig. 3 è schematizzato il processo produttivo.

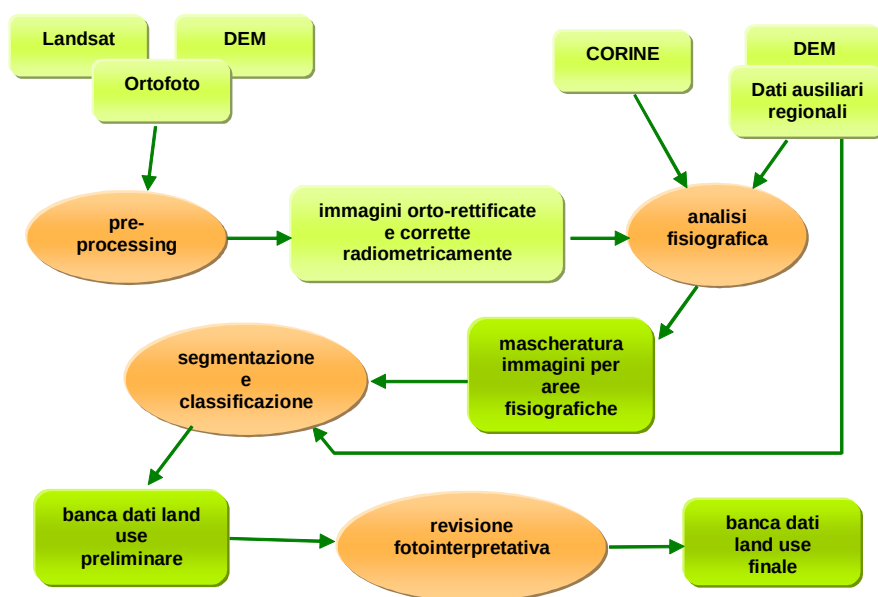


Figura 2 - Metodologia

Pre-processing: il processo di ortorettifica si è basato sulle ortofoto digitali Terraitaly 2000, disponibili sul sito del Ministero (www.atlanteitaliano.it) e utilizzando il DEM con risoluzione pari a 20 m fornito dal Ministero. Le immagini sono state poi corrette radiometricamente ed è stata effettuata la mascheratura delle nuvole e delle ombre dovute alla topografia.

Analisi fisiografica: Il territorio considerato (Italia e Svizzera) presenta una forte varietà di paesaggio e si è rivelato conveniente affrontare il processo di classificazione con una preliminare individuazione di ambiti fisiografici generali omogenei, in cui le strategie di elaborazione possono

adattarsi meglio alle varie tipologie geografiche. Gli ambiti sono stati costruiti mediante una analisi basata su:

- Immagini Landsat;
- Corine Land Cover;
- DEM;
- Dati ausiliari regionali, quando disponibili.

Degli esempi di ambiti fisiografici sono:

- Alta montagna, alpina o appenninica, sopra il limite del bosco;
- Territori di collina e montagna caratterizzati dalla prevalenza di ambiti naturali boscati;
- Aree collinari prevalentemente agricole con pattern molto frammentato;
- Aree delle grandi pianure con agricoltura estensiva ed importanti insediamenti.

Segmentazione e classificazione fuzzy: con le aree fisiografiche vengono mascherate le immagini Landsat, in modo da procedere nei vari ambiti territoriali con approcci personalizzati. Le immagini vengono segmentate e classificate con la logica *fuzzy object oriented* individuando categorie di *land cover* di tipo elementare, successivamente aggregate in classi di *land use*.

Revisione fotointerpretativa: per il raggiungimento dei requisiti qualitativi richiesti dal progetto è necessario completare il processo con una revisione fotointerpretativa basata sull'analisi comparata delle ortofoto digitali e delle immagini Landsat stesse. Questo processo risulta particolarmente necessario delle zone collinari ad alta eterogeneità e frammentazione, in cui il potere risolutivo del dato Landsat spesso non risulta sufficiente.

Risultati

L'immagine seguente mostra un esempio dei prodotti realizzati ed evidenzia la buona rispondenza con le ortofoto digitali.

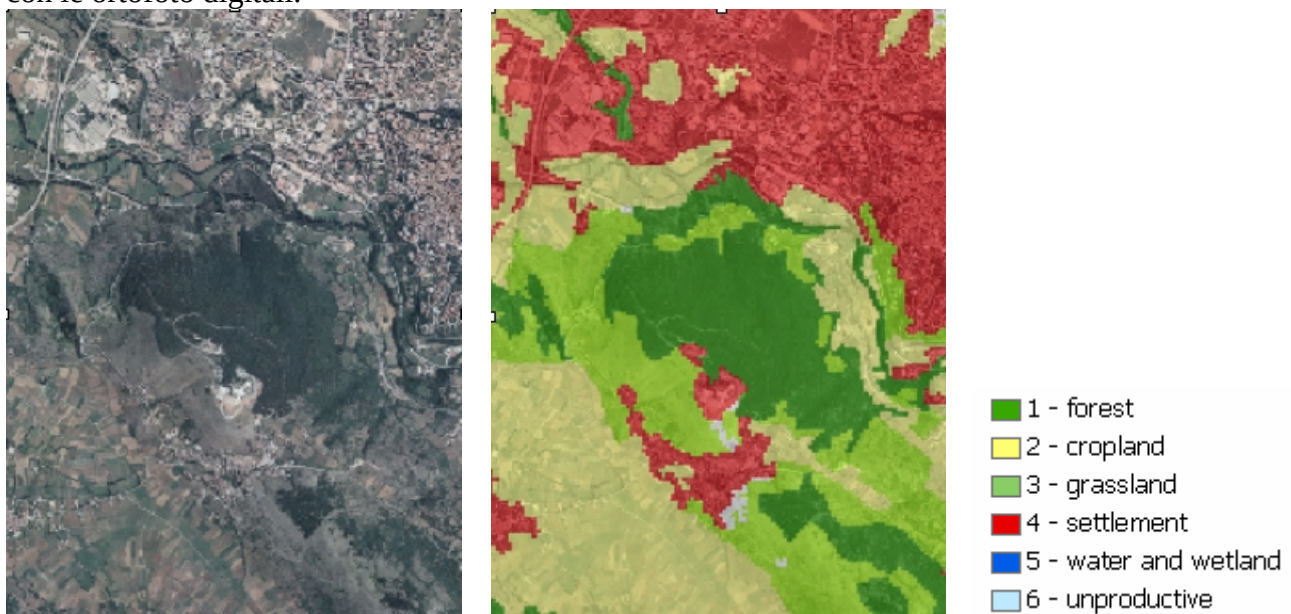


Figura 4 – Un particolare della carta dell'uso del suolo - Abruzzo 2002

Validazione

Per entrambi i progetti, la validazione dei prodotti è stata effettuata da partner appartenenti ai consorzi ma non coinvolti nella fase di produzione. Per il caso italiano i partner sono Planetek Italia e Geoapikonis rispettivamente.

Per entrambi i progetti, il Ministero per l'Ambiente e la Tutela del Territorio e del Mare ha affidato all' Laboratorio di Ecologia Forestale dell'Università degli Studi della Tuscia di Viterbo (abbr. Di.S.A.F.Ri) il compito di verificare la qualità dei risultati e la rispondenza ai requisiti.

Per Kyoto-Inventory in particolare, Di.S.A.F.Ri ha disegnato dei campioni da 1500 a 1800 punti per ciascuna delle regioni consegnate. Ogni punto rappresenta l'interpretazione di un'area quadrata di 30X30 m., pari cioè alla risoluzione della mappa. Per ciascuna regione sono stati utilizzati due strati di punti. Lo strato principale è stato determinato con campionamento sistematico (es. Lombardia, Toscana) mentre in altre regioni con campionamento casuale (es. Calabria, Abruzzo, Molise). Nel caso sistematico sono state usate griglie di 3,5 X 3,5 Km. Il secondo layer contiene invece dei punti aggiuntivi appartenenti alle classi meno rappresentate (tipicamente *unproductive* o *water and wetland*), in modo da ottenere un campione che fosse significativo anche per queste classi. La scelta di aggiungere un secondo strato è dovuta alla distribuzione molto irregolare delle classi più piccole all'interno delle regioni.

I due diversi tipi di campionamento (sistematico o casuale) non hanno modificato significativamente la rilevanza statistica, perchè in entrambi i casi i punti erano distribuiti in maniera sufficientemente omogenea in tutta la regione.

Sia la fotointerpretazione che i controlli qualitativi sono stati effettuati sulla base delle ortofoto Terraitaly 2000; i punti individuati sono poi stati fotointerpretati da esperti del settore agro-forestale, con una buona conoscenza del territorio e in particolare delle regioni da validare.

I campioni sono stati confrontati statisticamente con le mappe di Uso del Suolo, in modo da stimarne l'accuratezza tematica. I risultati sono stati molto soddisfacenti, rilevando accuratèzze tematiche che vanno dall'90 al 98, 2 % con eccezione del caso dell'Abruzzo in cui il valore di 89,9%, comunque di poco al di sotto della soglia di accettabilità, è giustificato dalla presenza elevata di aree di transizione e dall'elevata frammentazione del territorio, talvolta difficilmente percepibile con la risoluzione spaziale del Landsat.

Tabella 3 – Accuratezze riscontrate da Di.S.A.F.Ri

Regione	Accuratezza tematica complessiva
Lombardia	94,4 %
Toscana	96,3 %
Calabria	91,3 %
Abruzzo	89,0 %
Molise	98,2 %

Ringraziamenti

Si ringraziano gli sportelli cartografici di Val d'Aosta, Liguria, Piemonte, Lombardia, Veneto, Emilia Romagna, Abruzzo, Molise, Toscana, Calabria e delle Province autonome di Trento e Bolzano per avere messo a disposizione i loro dati, fornendo un contributo prezioso per la riuscita dei due progetti e la messa in opera del servizio.

Referimenti

- Schimel DS et Al.,(2001), "Recent patterns and mechanisms of carbon exchange by terrestrial ecosystems", *Nature* 414, 169-172
- Magnani F. (2005), " Il ruolo della vegetazione, il progetto CarboItaly", *ARPA Rivista N. 5 Settembre-Ottobre 2005*, 20-21
- Janssens IA et Al., (2003), "Europe's terrestrial biosphere absorbs 7 to 12% of European anthropogenic CO2 emissions", *Science* 300, 1538-1542.
- Volden E. (2004) "The ESA KYOTO-INV Project" *Envisat Symposium*, Proceedings n.543
- Renda O. (2003) "Forest Environmental Reporting Services", *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'03)*, Vol. 7, p. 4582-458