IL CENSIMENTO DELLE OPERE COSTIERE DELLA REGIONE LIGURIA

Corinna ARTOM (*), Ileana BALDUZZI (**), Sara LAMANNA (*)

(*) Regione Liguria, Ufficio aree demaniali marittime,Via D'Annunzio, 113, 16121 Genova,
tel +390105484251, corinna.artom@regione.liguria.it
(**) Università degli Studi di Genova, Dip.Te.Ris., Corso Europa 26, 16132 Genova,
tel +390103538224, atlante@dipteris.unige.it

Riassunto
Il censimento delle opere di difesa costiera, realizzato all'interno del progetto comunitario Interreg IIIC Beachmed-e da Regione Liguria e Arpal in collaborazione con Dip.Te.Ris., si è avvalso del Sistema Informativo regionale Costiero SICoast. Entrambi gli strumenti sono stati prodotti con lo scopo di perseguire una gestione integrata e sostenibile della fascia costiera e del territorio retrostante.
Il sistema informativo integra dati disomogenei di tipo ambientale, amministrativo e demaniale e cartografico.
Il censimento, testato sulla Provincia di Imperia, ha riguardato opere sia di tipo rigido che di tipo morbido e contiene informazioni inerenti sia il progetto che le opere di difesa. Nella messa a punto e nella compilazione del database Entità-Relazioni si sono dovute fronteggiare diverse difficoltà legate soprattutto alla complessità nel reperimento dei dati per i progetti più datati ed alla scarsa precisione e disomogeneità delle informazioni disponibili all'interno dei progetti stessi.

Abstract
The database of coastal structures and shore protection projects, realized for UE Interreg IIIC Beachmed-e project, has been made by Regione Liguria and Arpal in cooperation with Dipteris: it uses the integrated coastal GIS SICoast. The goal of these tools is to achieve an integrated and sustainable management of the coast and of the areas behind.
The SICoast includes non homogeneous coastal geo-referenced information like environmental and administrative data, cartographic data.
The census, tested on the province of Imperia, has included soft and hard structures and contains information both about the project per se and the structures. In the relational database model there are In the implementation of the database there were some problems related to the difficulties of retrieving the data of the old projects and to the non homogeneity of the information stored in the project archives.

Premessa

La redazione della banca dati delle opere di protezione costiera è scaturita da un'analisi dello stato dell'arte e della letteratura in ambito costiero a livello americano, europeo ed italiano. Il database americano analizzato è l'*eCoastal*, un GIS nato per supportare l'ingegneria e la gestione costiera, contenente progetti concernenti i ripascimenti e la protezione della costa (*Shore Protection Project*) oltre agli stretti, canali e porti (*Navigation Project*) (USACE, 2007).
A livello europeo il database analizzato è stato quello francese, prodotto all'interno del progetto MEDAM (Meinesz et al., 2006), e realizzato a partire da fotografie aeree, carte e dall'osservazione diretta del litorale.
A livello nazionale regionale, invece, i database di riferimento sono stati quello della Regione Emilia Romagna, realizzato all'interno del Progetto Volano, della Regione Abruzzo, realizzato all'interno del Progetto Ricama, della Regione Lazio e della Regione Marche.

Il sistema informativo della Regione Liguria: SICoast

Il sistema informativo territoriale della costa, implementato dal Dipartimento Pianificazione Territoriale della Regione Liguria, incorpora informazioni di diversa natura opportunamente integrate per essere facilmente usufruibili. I dati inseriti nel SICoast sono quelli attualmente disponibili presso il dipartimento; il sistema, pur essendo allo stato attuale un prodotto finito, risulta comunque in continua evoluzione ed aperto ad ulteriori integrazioni. Le informazioni attualmente contenute sono relative a:

- demanio: viene indicato il limite della dividente demaniale; le aree demaniali sono state quindi divise in poligoni usufruibili e non per la balneazione. Vengono indicati i Piani di Utilizzo Demaniale approvati ed in itinere, il loro stato di fatto e di progetto. In Figura 1 è riportato il PUD di progetto di un tratto del Comune di Finale Ligure;



Figura 1 - PUD di progetto di un tratto del Comune di Finale Ligure

- carattere fisico della costa (spiaggia, spiaggia sabbiosa, spiaggia ciottolosa, battigia rocciosa, terrapieno, scogliera artificiale, costa alta,…) ed usi della costa (strada, parcheggio, passeggiata, ferrovia, struttura sportiva, area di competenza autorità portuale, miticoltura, struttura turistica, deposito imbarcazioni, impianto nautico minore, cantiere navale, …)
- evoluzione della linea di riva: eseguita per gli anni 1944, 1973, 1983, 1993, 2003 attraverso la foto-interpretazione.
- foto prospettiche costiere: costituiscono il risultato di un progetto promosso da APAT e Regione Liguria, avente come obiettivo principale la messa a punto di una metodologia di analisi della fascia costiera mediante l'impiego di immagini aeree panoramiche e video digitali. Il volo è stato realizzato nell'agosto del 2006, ha interessato circa 400 km di costa compresi tra il confine francese ed il comune di Viareggio sul litorale toscano ed è stato eseguito ad una quota di 500 m s.l.m.. Un secondo volo dell'intera costa ligure è stato realizzato nel febbraio 2008.
- dati vettoriali: suddivisi in dati amministrativi (limiti amministrativi dei comuni costieri in scala 1:5000, toponimi della costa) e dati raster (CTR 1:5000, ortofoto IT2000 in scala 1:10000, foto aeree del volo basso costiero del 2003);
- caratteri della costa: è stata eseguita la caratterizzazione della costa, di cui la Figura 2 è un esempio relativo al Comune di Ventimiglia, differenziata a seconda dell'anno considerato a causa dell'incertezza dell'informazione. Così i "lineari" relativi agli anni 1944, 1973, 1983, 1993 caratterizzano la costa dividendola soltanto in spiaggia, scogliera artificiale e costa alta, mentre i "lineari" relativi al 2003 contengono al loro interno una ulteriore divisione con le voci spiaggia sabbiosa, spiaggia ciottolosa, battigia rocciosa e terrapieno;

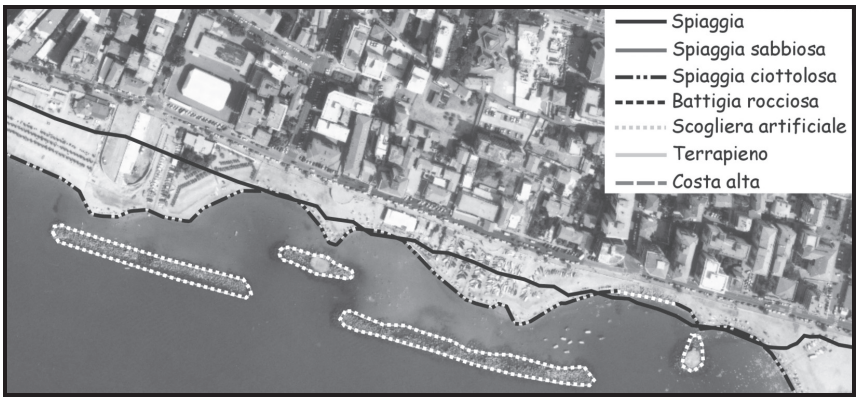


Figura 2 - "Lineari" – tratto di costa compreso tra Punta della Rocca e la foce del Fiume Roja nel Comune di Ventimiglia.

- ecosistema: è stata adottata in questa sezione la divisione in unità fisiografiche, utilizzate per l'evoluzione morfologica, e in paraggi costieri. Per quanto riguarda l'ecosistema sono state inserite cartografie tematiche, pubblicate da Regione Liguria in scala 1:10.000 con aggiornamento al 2006, attraverso le quali è possibile vedere le magnoliofite marine presenti nel Mar Ligure (*Posidonia oceanica* e *Cymodocea nodosa*), il coralligeno, gli ambienti sabbiosi infralitorali o i popolamenti algali fotofili infralitorali (Diviacco, Coppo, 2006). La Figura 3 riporta un esempio relativo al tratto di costa dell'area protetta marina di Bergeggi.

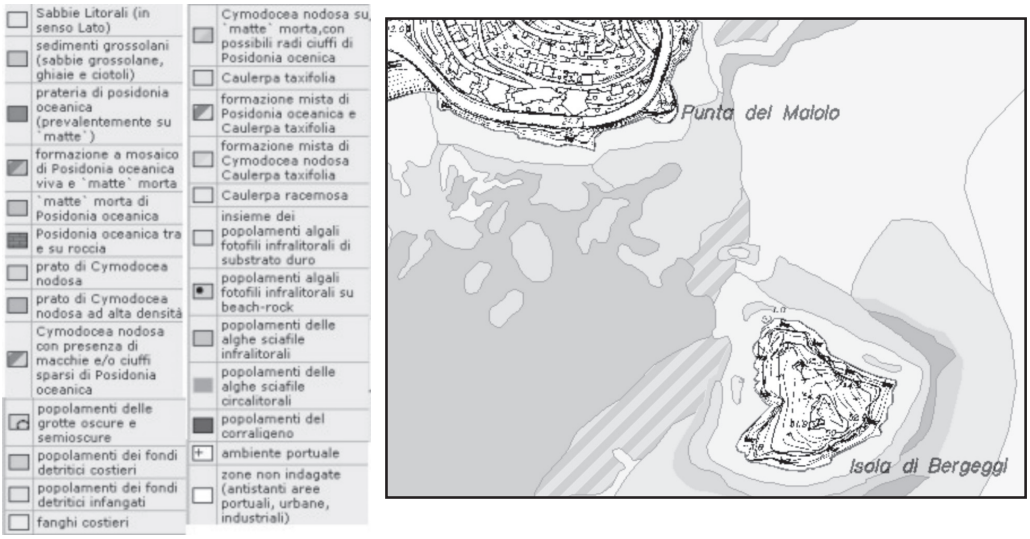


Figura 3 - Isola di Bergeggi, Atlante Habitat Marini, scala 1:10.000

- database delle opere costiere: è stato condotto sulla base della fotointerpretazione delle immagini dei diversi voli bassi costieri degli anni 1944, 1973, 1983, 1993, delle ortofoto 2003 e delle foto prospettiche realizzate nell'agosto del 2006.

Il database delle opere costiere

È il frutto di una collaborazione tra Regione Liguria, Arpal e Dip.Te.Ris. e si colloca all'interno del progetto comunitario Interreg IIIC Beachmed-e.

Il lavoro ha cercato di fornire uno schema di censimento il più possibile generale ed adattabile anche a realtà differenti da quella ligure (Regione Liguria, 2003). Il database E-R, di cui si riporta lo schema in Figura 4, è stato implementato utilizzando l'applicativo Microsoft Access ed il software Gis Geomedia Professional ed è stato inserito all'interno del SICoast.
La consultazione dello stato dell'arte in campo nazionale ed internazionale (Simm J. D. et al., 1996; AA. VV., 2001a; AA. VV., 2001b; Basco D., 2006; Burcharth H. F., Hughes S. A., 2006; APAT, 2007; USACE, 2007) ha reso possibile la scelta dei parametri più salienti da inserire per una caratterizzazione delle opere di difesa costiere che fosse il più possibile accurata ed approfondita.
Il livello zero di partenza considerato per l'inizio della compilazione del censimento è stato l'anno 2003, il primo anno in cui le opere costiere e la costa stessa sono state definite e caratterizzate con precisione. Così facendo le opere demolite prima di tale anno non sono state considerate.
Il database è stato quindi tarato durante la sua compilazione per fronteggiare i problemi che via via si presentavano.

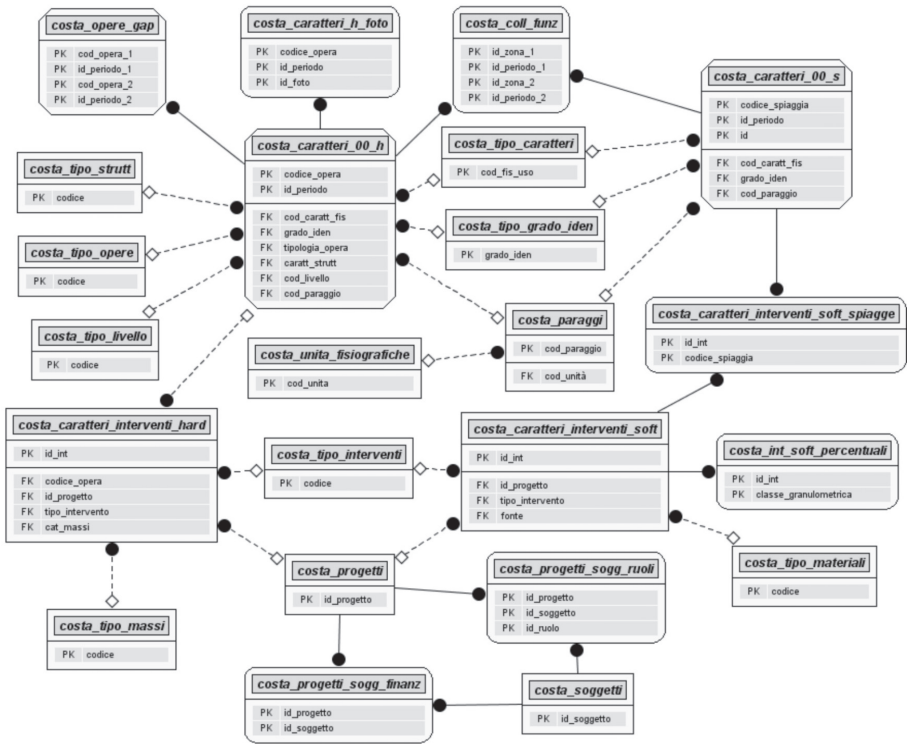


Figura 4 - Disegno della base di dati E-R

Il database delle opere rigide
Le opere costiere marittime di tipo rigido sono state suddivise in pennelli, parallele, aderenti, isole e setti e sono state individuate con poligoni, rappresentanti l'ingombro planimetrico delle opere stesse, ad ognuno dei quali è stato attribuito un identificativo di tipo numerico.
Le informazioni inserite sono state il risultato dell'analisi dello stato dell'arte presente in questo campo (Tab. 1).

Progetto dell'opera	- titolo/anno del progetto; - entità coinvolte e specifica sul ruolo ricoperto (progettista, ente/i finanziatore/i, ente/i manutentore/i, ente approvante, proponente (pubblico/privato) e relativi dati; - tipo di atto approvativo del progetto, data e numero; - importo del progetto e importo lavori.
Caratteristiche generali	- unità fisiografica e paraggio di appartenenza; - provincia, comune; - anno di costruzione/demolizione; - opera singola/di sistema: intendendo con questa voce l'assenza/presenza di altri manufatti o spiagge, interagenti con quella considerata.
Caratteristiche tecniche (in elenco le principali)	- opera emersa/sommersa; - profondità massima di imbasamento; - lunghezza e larghezza media sommersa; - altezza rispetto al l.m.m. e sommergenza; - pendenza paramento lato mare; - profondità della testata dell'opera; - materiale utilizzato (calcestruzzo, massi, mista) e categoria dei massi utilizzati nella mantellata più esterna; - distanza media opere – costa.
Altro	Ad ogni opera è stato collegato il numero del fotogramma di ogni singolo volo basso costiero effettuato per la costa ligure.

Tabella 1 – Database delle opere rigide

Il database delle opere morbide

Anche gli interventi di ripascimento sono stati individuati con un identificativo di tipo numerico.
Il primo passo per la definizione delle opere di tipo morbido è stata l'attribuzione del tipo di ripascimento in accordo con la normativa regionale:

- strutturale, se il volume di materiale coinvolto è superiore a 10 m^3/m lineare e se l'intervento è finalizzato all'ampliamento o alla creazione di nuove spiagge;
- stagionale, se il volume di materiale coinvolto è inferiore a 10 m^3/m lineare e se l'intervento stesso ha carattere manutentivo del profilo di spiaggia.

Alle opere di tipo morbido si sono quindi associate invece informazioni indicate in Tabella 2

Progetto dell'opera	- titolo/anno del progetto (se presente); - entità coinvolte e specifica sul ruolo ricoperto (progettista, ente/i finanziatore/i, ente/i manutentore/i, ente approvante, proponente (pubblico/privato) e relativi dati; - tipo di atto approvativo/autorizzativo del ripascimento, data e numero; - importo del progetto e importo lavori; - costo manutenzione dell'opera.
Caratteristiche generali	- provincia, comune; - anno di realizzazione dell'intervento; - intervento singolo/di sistema: intendendo con questa voce l'assenza/presenza di altri manufatti o spiagge, interagenti con quella considerata.
Caratteristiche tecniche	- lunghezza del tratto di spiaggia oggetto del ripascimento; - volume di materiale versato; - classi granulometriche e relative percentuali utilizzate nell'intervento; - fonte di provenienza del materiale (cava a a terra e a mare, in situ, fiume) - località della fonte.

Tabella 2 – database delle opere morbide

Conclusioni

Il database delle opere costiere, inizialmente testato sulla provincia di Imperia e poi esteso all'intero territorio regionale ligure, è uno strumento gestionale di fondamentale importanza se visto nell'ottica della valutazione degli effetti prodotti sul litorale dagli interventi stessi. Una corretta gestione delle aree costiere non può infatti prescindere dalla conoscenza del litorale che si ottiene attraverso l'acquisizione di una grande quantità di dati e informazioni, da una loro efficace organizzazione, e dall'analisi delle problematiche che lo interessano.

Il database permetterà, a regime, una corretta pianificazione delle risorse nella fascia costiera, ambiente delicato e vulnerabile perché sottoposto a pressione crescente in termini di urbanizzazione, un maggiore controllo dei costi e degli investimenti, nonché una valutazione a posteriori delle scelte progettuali che si susseguono via via lungo il litorale e delle conseguenze che le stesse hanno sull'evoluzione costiera.

Il database è stato inserito nel sistema informativo della costa della Regione che integra informazioni disomogenee per cercare di ottenere uno strumento il più possibile fruibile a livello amministrativo centrale.

Riferimenti bibliografici

AA. VV. (2001a), *Studi, indagini, modelli matematici finalizzati alla redazione del Piano di Difesa della Costa – B1 – Caratterizzazione della spiaggia emersa e sommersa*. Regione Marche, Istituto di Idraulica, Università degli Studi di Ancona; pp. B1.1-B1.25

AA. VV. (2001b), *Studi, indagini, modelli matematici finalizzati alla redazione del Piano di Difesa della Costa – D – Analisi delle opere di difesa.* Regione Marche, Istituto di Idraulica, Università degli Studi di Ancona, pp. D.1-D.24; D98-D134

APAT (2007), *Atlante delle opere di sistemazione costiera;* Manuali e linee guida, APAT, 44/2007: 1-169

Basco D. (2006), *Shore protection projects*. In: Ward L. Donald, Coastal Engineering Manual, Part V, Coastal project planning and design, Chapter III-5, Engineer Manual 1110-2-1100, USACE, Washington, DC.

Burcharth H. F., Hughes S. A. (2006), *Types and functions of coastal structures*. In: Hughes S., Coastal Engineering Manual, Part VI, Design of Coastal Project Element, Chapter VI-2, , Engineer Manual 1110-2-1100, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC.

Regione Liguria (2003), "Criteri generali per il monitoraggio delle opere di difesa della costa e degli abitati costieri e di ripascimento degli arenili, di cui alla D.G.R. n. 222 del 28.02.2003, Deliberazione della Giunta regionale n.1793 del 30 dicembre 2005", *Bollettino ufficiale regionale 01/02/2006 n.* 5

Diviacco G., Coppo S. (2006) - *Atlante degli habitat marini della Liguria – descrizione cartografica delle praterie di Posidonia oceanica e dei principali popolamenti marini costieri*, Edizioni Grafiche Amadeo, pp. 205, tavv. 75

Meinesz A., Javel F., Longepierre S., Vaugelas J. de, Garcia D. (2006), "Inventaire et impact des aménagements gagnés sur le domaine marin - côtes méditerranéennes françaises", *Laboratoire Environnement Marin Littoral, Université de Nice-Sophia Antipolis. Publication électronique* : www.medam.org.

Simm, J.D., Brampton, A.H., Beech, N.W. & Brooke, J.S. (1996), Beach Management Manual, *CIRIA. Report*, 153: 35-431

USACE, 2007. eCoastal engineering manual, 1-1 – 2-17; 4-1 – 4-10; 7-1 – 7-9.

http://www.arpa.emr.it/ingamb/difesa_costa.htm

L'USO DEL SUOLO DELLE REGIONI: VERSO UNA CONDIVISIONE DI STANDARD

GdL Uso del suolo (1), Massimo ATTIAS (1), Amedeo D'ANTONIO (2), Stefano CORTICELLI (3), Maria Luisa GARBERI (3), Giuseppe FRANCO (4), Raffaele PERRONE (4), Anna CERRATO (5), Marino FIORITO (6), Giovanni ROCCA (6), Donata DAL PUPPO (7), Dante FASOLINI (8), Stefano BELLESI (9), Achille BUCCI (9), Luigi GARRETTI (10), Barbara DIEGOLI (11), Vito LARICCIUTA (12), Antonio BELLANOVA (13), Pina CAROPPO (13), Paola SIGNORILE (14), Alberto GREGGIO (15), Gianluca LANDI (15), Lorenzo BOTTAI (16), Giammario CANESCHI (17), Ambra CIARAPICA (17), Sandra TOGNI (17), Massimo FOCCARDI (18), Carlo GIAGGIO (18), Mauro NORDIO (19)

(1) CPSG – Comitato Permanente Sistemi Geografici presso CISIS (Centro Interregionale per i Sistemi informatici, geografici e statistici, via Piemonte 39, 00187 Roma, tel. 06 97990002, fax 06 4871306, segreteria@centrointerregionale-gis.it
(2) Regione Campania, (3) Regione Emilia-Romagna, (4) Regione Lazio, (5) Regione Liguria, (6) Datasiel – Liguria, (7) Regione Lombardia, (8) Ersaf Lombardia, (9) Regione Marche, (10) Regione Piemonte, (11) CSI Piemonte, (12) Regione Puglia, (13) Tecnopolis- Puglia, (14) Regione Sardegna, (15) Regione Toscana, (16) Lamma – Toscana, (17) Regione Umbria, (18) Regione Veneto, (19) Sinergis Srl – Veneto

Riassunto

Si desidera presentare lo stato di avanzamento dei lavori del gruppo di lavoro (GdL) Uso del suolo del CISIS, che ha iniziato le sue attività nel 2007 sotto l'egida del ex Centro Interregionale, ora Comitato Permanente Sistemi Geografici (CPSG) del CISIS. I lavori del GdL Uso del suolo sono finalizzati alla definizione di una proposta tecnica inerente specifiche comuni minime, di cui tener conto nella realizzazione di database cartografici relativi all'uso del suolo condivisibili a livello interregionale.

Le attività del primo anno di lavoro sono state relazionate all'interno di una "sessione tematica" presentata all'XI Conferenza Nazionale ASITA di Torino ed organizzata dalle Regioni partecipanti al GdL, mentre con il Seminario tenutosi recentemente a Roma (Società Geografica, 12 aprile 2008) si è avviato il confronto con i diversi organismi nazionali ed europei che operano sul tema e che hanno fornito il loro contributo per l'elaborazione di una proposta tecnica condivisa.

Abstract

This paper introduces the activities of the Italian Interregional Working Group for land use and land cover (*GdL Uso del suolo*) during 2008.

The GdL Uso del suolo is a working group referring to national CPSG Foundation of CISIS Commitee. CISIS is for *Centro Interregionale per i Sistemi Informatici, Geografici e statistici* (alias Interregional Foundation for Geographical and Statistical Information Systems); CPSG is for *Comitato Permanente Sistemi Geografici* (alias Standing Committee for Geographical Systems).

The main goal of the Interregional *Uso del suolo* working group is the definition of a technical proposal for a common harmonized specifications core, as a guideline for the implementation of land use systems with the aim of interoperability among different regional agencies .

Il GdL Uso del suolo del CSPG/CISIS

Le molteplici attività che si stanno realizzando per la costruzione di infrastrutture di dati territoriali a livello europeo, nazionale e regionale, con riferimento alla Direttiva europea (INSPIRE, 2007) e,

in Italia, al Codice dell'Amministrazione Digitale (CAD, 2006), si pongono l'obiettivo di creare un sistema di condivisione e di diffusione delle informazioni territoriali, rivolto sia al sistema della Pubblica Amministrazione che a tutti gli altri soggetti interessati.
La direttiva INSPIRE prevede che i diversi partecipanti all'Infrastruttura europea mettano a disposizione i propri dati territoriali, predisponendo adeguati sistemi di documentazione e di servizi per renderli fruibili. Inoltre definisce il concetto di "interoperabilità" tra dati, intesa come la possibilità di combinare tra loro, in modo coerente, dati territoriali provenienti da fonti diverse, incrementandone così il valore e l'utilizzo.

In questo contesto, nell'ambito del Comitato nazionale per le regole tecniche sui dati territoriali, istituito ai sensi dell'art. 59 del CAD, si sono costituiti diversi gruppi di lavoro con la finalità di definire regole comuni per la realizzazione delle basi dati territoriali e della loro documentazione, nonché per attivare servizi per la fruibilità delle informazioni e per lo scambio tra le diverse organizzazioni.
In tale ambito di riferimento, il Centro Interregionale per i Sistemi Informatici, Geografici e Statistici (CISIS) ha attivato un gruppo di lavoro sulla tematica "uso del suolo", tema presente nelle categorie indicate negli Annex di INSPIRE, finalizzato alla definizione di una proposta di specifiche tecniche, condivisa tra le Regioni, che possa costituire un riferimento immediato per i progetti in fase di attivazione ed una base di confronto per i futuri approfondimenti, che potranno essere apportati in sede di Comitato per i Dati Territoriali.

Le attività del primo anno di lavoro sono state presentate nella scorsa edizione della Conferenza Nazionale ASITA tenutasi a Torino, all'interno di una "sessione tematica" organizzata dallo stesso GdL e dalle Regioni ad esso partecipanti, che hanno svolto apposite relazioni sul tema, delineando pure un possibile percorso di lavoro del GdL (GdL Uso del suolo, 2007).
In tale contesto sono stati presentati i risultati di una ricognizione effettuata dal GdL presso le varie Regioni che analizza lo "stato dell'arte" delle iniziative sull'uso /copertura del suolo regionali.
Da tale analisi sono emerse:

- la tendenza a una sempre maggiore divulgazione del dato tramite servizi webgis e la relativa documentazione tramite i metadati nei vari formati;
- la realizzazione delle cartografie in periodi temporali diversi con il conseguente impiego di tecnologie e metodologie di produzione differenti;
- l'esistenza in alcune regioni di diverse edizioni del prodotto, corrispondenti a diverse finestre temporali, che consentono di confrontare in modo diacronico le diverse situazioni territoriali e mettere in evidenza e valutare l'effetto delle azioni legate alla pianificazione del territorio e dell'ambiente.

I dati raccolti hanno quindi permesso di individuare alcune prime tematiche sviluppate dai sottogruppi di approfondimento del Gdl attivati all'inizio di quest'anno ("specifiche tematiche", "esperienze e analisi di applicazione della generalizzazione per l'uso del suolo", "dati di riferimento e fonti informative"). Questi gruppi lavorano in stretta collaborazione fra di loro ed anche in modo sequenziale, partendo dai risultati prodotti nelle precedenti esperienze. Altri sottogruppi di approfondimento ("regole topologiche e tematiche" e "metodologie di analisi diacroniche a partire da strati informativi multi temporali) si attiveranno mano a mano che i primi avranno completato le loro attività o avranno raggiunto i primi risultati .

Gruppo di lavoro "specifiche tematiche"
Il gruppo ha analizzato le nomenclature dei temi sull'uso/copertura del suolo attualmente utilizzati dalle varie regioni e ha operato un confronto con delle nomenclature a carattere nazionale e/o europeo.
I primi elementi presi in considerazione sono stati le nomenclature e le unità minime di riferimento adottate.

Il confronto tra le classificazioni, è stato eseguito scegliendo come punto di vista la copertura del suolo, con le seguenti nomenclature:

- legenda del progetto CORINE Land Cover (versione pubblicata sul sito APAT, 2006);
- legenda Ministero dell'Ambiente strutturata a 4/5 livelli (D.M. 3 /09/ 2002 del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio);
- classificazione con 5 livelli tematici realizzata da APAT a partire dai dati CLC2000;
- proposta di classificazione su 4 livelli del Centro Interregionale;
- proposta di classificazione su 5 livelli, studio effettuato dal Prof. Marco Marchetti per il precedente gruppo di lavoro Uso del suolo (Marchetti, 2002).

In questa fase il confronto è avvenuto solo sulla base del III livello gerarchico e ci si propone di procedere successivamente con il IV e con il V livello.
Per ogni regione sono state prese come riferimento le nomenclature e le unità minime cartografabili impiegate per la carta dell'uso del suolo più recente o in corso di realizzazione e si è proceduto ad analizzare:

- la conformità tra le nomenclature;
- le diverse tipologie di discrepanza;
- le diverse unità minime adottate per ogni classe e scala di restituzione.

Nell'analisi della conformità delle legende adottate dalle regioni rispetto alla nomenclatura CORINE Land Cover, sono stati evidenziati i seguenti casi:

- codice conforme (codice CORINE uguale per valore e definizione);
- nuovo codice proposto (nuovo codice CORINE inserito per esigenze interne da una regione da inserire eventualmente nella colonna dei codici);
- codice non conforme al III livello (codifica diversa da CORINE riconducibile al III livello);
- codice conforme al II livello (codifica diversa da CORINE riconducibile al II livello).

Dall'analisi sono state evidenziate e distinte le tipologie di discordanze:

- codice riconducibile ad un III livello già esistente dello stesso II livello (pertanto ipotetico IV livello da proporre);
- codice riconducibile ad un III livello già esistente di un diverso II livello;
- codice non riconducibile alla legenda CORINE.

Riassumendo:

1. tutte le Regioni che hanno realizzato carte dell'uso del suolo dopo la presentazione del Progetto CORINE hanno impiegato una legenda di tipo gerarchico affine in cui gli eventuali III livelli aggiunti sono riconducibili ad altri già esistenti;
2. le Regioni con carte dell'uso del suolo realizzate prima del 1996 hanno legende che contemplano maggiormente il punto di vista "uso del suolo" e quindi molte classi sono riconducibili al II o addirittura al I livello della legenda CORINE;
3. per alcuni prodotti regionali, le necessità di distinguere e classificare alcuni oggetti peculiari di specifiche realtà territoriali, comportano delle difficoltà oggettive nella riconduzione di tali oggetti alle classi della nomenclatura CORINE Land Cover.

Per le unità minime di riferimento, considerando oltre alle scale di restituzione (prevalentemente 1:10.000 ed 1:25.000) anche la forma geometrica della classe (in particolare nel caso di oggetti ad andamento prevalentemente lineare), sono state evidenziate le seguenti tendenze**:**

- un uso di unità minime di dimensioni diverse a seconda delle classi che si vogliono rappresentare e quindi strettamente legate alle finalità per cui viene redatto l'uso del suolo (questo aspetto si può notare, per esempio, nelle differenze di dimensioni delle unità minime per le classi relative alle zone urbanizzate, rispetto alle zone agricole ed ai territori boschivi);

- l'impiego e l'integrazione di diverse banche dati settoriali, con il conseguente utilizzo di unità minime proprie dei dati di riferimento e con la creazione di un prodotto multiscala;
- la non aderenza alla classica unità minima tematica indicata per la rappresentazione cartografica (0.4-0.6 mm x 0.4- 0.6 mm della scala di riferimento) per via del maggior utilizzo dei GIS e per il fatto che spesso i dati sono impiegati per l'elaborazione di indici e carte di sintesi in cui la ricchezza di informazioni del dato originale è accettata a scapito di una lettura "diretta".

Data la complessità degli argomenti, si è ritenuto che le parti relative alle possibili procedure di aggiornamento delle cartografie/database sull'uso/copertura del suolo e le analisi diacroniche di tali dati vengano sviluppati da un apposito sottogruppo di lavoro da attivare successivamente.

Gruppo di lavoro Dati di riferimento e Fonti informative

Il gruppo ha focalizzato il proprio interesse sui supporti geo-topografici che vengono maggiormente impiegati nella produzione di cartografia dell'uso del suolo. In particolare sono state distinte due categorie di supporti: i dati di riferimento e le fonti informative.

I dati di riferimento sono rappresentati dalle basi territoriali da cui, tramite interpretazione, è possibile restituire l'uso del suolo:

- immagini da aereo (b/n, colori reali ed infrarosso, tradizionali e digitali);
- immagini da satellite ad alta risoluzione;
- immagini SAR.

Le fonti informative sono rappresentate dai temi di settore derivanti dalle Carte Tecniche Regionali e dalla cartografia catastale o da apposti studi come:

- dati catastali ed informazioni associate (fonte AGEA);
- grafi stradali;
- mosaici dei Piani Regolatori o Strutturali Comunali;
- carte Forestali.

I dati di riferimento sono un supporto di tipo raster, di diverso tipo ed origine che, per essere impiegato nella restituzione dell'uso del suolo deve essere trasformato, tramite procedure fotogrammetriche, in ortofoto digitali georeferenziate. Al momento attuale si sta verificando l'esistenza di specifiche standard, raccomandazioni e capitolati, oltre a quanto già pubblicato dal Comitato Dati Territoriali del CNIPA (Centro Nazionale per l'Informatica nella Pubblica Amministrazione) per la produzione di ortofoto e dei dati ausiliari da impiegare nelle elaborazioni fotogrammetriche (DTM – *Digital Terrain Model*, DEM – *Digital Elevation Model*, DSM – *Digital Surface Model*) in modo da evidenziare e successivamente adottare le caratteristiche tecniche minime necessarie che devono possedere tali supporti.

Le fonti informative, invece, sono un dato vettoriale, nella maggior parte dei casi standardizzato, con associata la giusta classificazione dell'uso del suolo. Tali dati quindi andranno assemblati estrapolando dal database associato i campi utili e considerando la loro diversa costruzione geometrica.

Per tutti i supporti è importante la conoscenza dei contenuti informativi, delle metodologie di produzione e del sistema di riferimento cartografico in cui sono inseriti per poter completare i metadati dell'uso del suolo derivato da essi.

In ogni caso il GdL si è fatto carico di raccogliere ed organizzare tali informazioni da distribuire e diffondere a tutte le Regioni, attraverso la raccolta ed la pubblicazione di un dossier che sarà pubblicato nel sito del Centro Interregionale.

Gruppo di lavoro Esperienze ed analisi di applicazione della generalizzazione per l'uso del suolo

Il programma di lavoro che il sottogruppo si è dato riguarda:

- l'approfondimento della generalizzazione in relazione alle esigenze di riuso dell'uso del suolo;
- il recupero degli studi e della bibliografia esistente in materia;
- la raccolta e confronto delle esperienze di generalizzazione dell'uso del suolo realizzate presso le Regioni;
- il raccordo con gli altri sottogruppi per lo sviluppo delle integrazioni sulle tematiche affrontate.

L'analisi effettuata ha evidenziato che la generalizzazione è un processo complesso "che può essere guidato da varie strategie" in funzione del risultato che si vuole ottenere. L'esperienza delle regioni è stata guidata da diversi tipi di motivazioni;

- la necessità di estrarre un tema specifico o di enfatizzare un fenomeno geografico o ambientale, alla stessa scala o a scale diverse;
- l'attività di selezione, di semplificazione e di aggregazione tematica e geometrica finalizzata alla produzione di ulteriori basi dati e/o al successivo confronto con altre cartografie tematiche o di base;
- la necessità di confronto di territori diversi con conseguente armonizzazione delle nomenclature per una lettura omogenea.

II casi di generalizzazioni finora realizzati hanno utilizzato procedure automatizzate, basate sul contenuto informativo e sulle relazioni topologiche tra le entità poligonali presenti, che generano cicli di operazioni per eliminare poligoni per soglie di area minima, tenendo conto anche delle affinità tematiche.

Altre attività GdL Uso del suolo

Il GdL ha recentemente organizzato, come momento di confronto ma soprattutto di ascolto "attivo" fra i soggetti, un seminario a Roma, che si è tenuto il 12 giugno 2008 presso la sede della Società Geografica Italiana, con lo scopo di far conoscere lo stato dei lavori intrapresi dal GdL Uso del suolo del CISIS ai diversi organismi che operano in modo diretto o indiretto sul tema. Il seminario ha visto la partecipazione, al tavolo dei relatori, di autorevoli soggetti che hanno apportato il loro contributo per l'elaborazione di una proposta tecnica condivisa.

In particolare:

- la comunicazione di Agea è risultata di significativo interesse per la presentazione delle rilevazioni delle classi agricole e forestali con criteri di interpretazione innovativi a partire da immagini aeree e satellitari;
- la presenza di APAT ha confermato la continuità del progetto CORINE Land Cover nelle varie edizioni, presentando i risultati raggiunti e le diverse prospettive di utilizzo e sviluppo futuro;
- la comunicazione della comunità scientifica ha portato all'attenzione diversi spunti di approfondimento relativi alla identificazione dei fenomeni da osservare e all'uso delle tecniche di interpretazione object-oriented per derivare cartografie multiscala e multilivello; è stata ribadita, inoltre, la necessità di maggiore collegamento fra l'attività di ricerca e l'applicazione operativa presso gli Enti;
- la comunicazione dei referenti di INSPIRE della Comunità Europea ha fatto emergere l'interesse del gruppo a relazionarsi con quanto avviene a livello europeo attraverso l'infrastruttura organizzativa e partecipativa già esistente. In tal senso si è convenuto che una delle ulteriori attività che porterà avanti il GdL sarà quella di essere parte attiva nel processo già precostituito di INSPIRE, accreditandosi come SDIC (*Spatial Data Interest Comunity*).

Infine, sempre in merito alle azioni future e grazie ai lavori ed alle indicazioni derivate dai sottogruppi di approfondimento, il GdL intende delineare le prime indicazioni di linee guida per definire prodotti di uso/copertura del suolo costruiti con regole comuni.
L'auspicio di poter definire in tempi brevi regole comuni, si estende a quello di costituire un effettivo gruppo di riferimento sul tema da parte degli organismi nazionali ed europei che presiedono alla formulazione degli standard sull'informazione geografica.

Riferimenti bibliografici

Attias M. et alii (2007), **"**La cartografia dell'uso del suolo: esperienze regionali a confronto", *Atti dell'XI Conferenza Nazionale ASITA*

INSPIRE (2007), "Direttiva 2007/2/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 14 marzo 2007", *Gazzetta Ufficiale della UE il 25 Aprile 2007,* sito web: http://inspire.jrc.ec.europa.eu/index.cfm

CAD (2006), "Codice dell'Amministrazione Digitale SO n. 105 il Decreto legislativo 4 aprile 2006, n. 159", *Gazzetta Ufficiale del 29 aprile 2006, n. 99*

Traduzione della legenda del progetto CORINE Land Cover (versione pubblicata sul sito APAT, 2006 – oggi accessibile tramite il modulo MAIS, Modulo di Accesso alle Informazioni Spaziali del SINA, Sistema Informativo Nazionale Ambientale)

Classificazione con 5 livelli tematici realizzata da APAT a partire dai dati CLC2000 (versione pubblicata sul sito APAT, 2006 – oggi accessibile tramite il modulo MAIS, Modulo di Accesso alle Informazioni Spaziali del SINA, Sistema Informativo Nazionale Ambientale)

Garretti L. (2003), "Progetti regionali sul Land Cover", - Cartografia di copertura e uso del suolo in Italia: progetti e prospettive, workshop tematico APAT, Napoli, 14 Maggio 2003

Marchetti M. (2002), "Metodologie per una cartografia di uso del suolo multilivello e multiscala: analisi e sperimentazione operativa", in *Documenti del territorio n. 29/2002*

Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio (2002), "D.M. 3 /09/ 2002 del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio. Linee guida per la gestione dei siti Natura 2000", Allegato N. 4, *Gazzetta Ufficiale del 24 settembre 2002, n. 224*

Reports 1995, 2000, 2002, 2007 della metodologia e della nomenclatura CORINE Land Cover, pubblicati sul sito della European Environmental Agency (EEA), http://reports.eea.europa.eu/

Proposta di classificazione su 4 livelli del Centro Interregionale (2001), che verrà pubblicata entro fine 2008 sull'area di lavoro del GdL Uso del suolo, http://www.centrointerregionale-gis.it/script/AreaUDS.asp

Sito del GdL Uso del suolo:
www.centrointerregionale-gis.it
www.cisis.it

LA RETE INTEGRATA NAZIONALE GPS (RING): STATO DELL'ARTE A DUE ANNI DALLA NASCITA

Antonio AVALLONE (*),Gianpaolo CECERE (**), Luigi FALCO (**),Raffaele MOSCHILLO (**), Maurizio PIGNONE (**), Elisabetta D'ANASTASIO (*), Luigi ZARRILLI (**), Grazia PIETRANTONIO (*),Enrico SERPELLONI (***), Nicola D'AGOSTINO (*), Marco ANZIDEI (*), Giuseppe CASULA (***), Ciriaco D'AMBROSIO (**), Roberto DEVOTI (*), Giulio SELVAGGI (*)

(*) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, via di Vigna Murata 605, 00143 Roma, tel. +39-0651860722, fax. +39-0651860541, avallone@gm.ingv.it.
(**) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Osservatorio di Grottaminarda, via Castello D'Aquino 13, 83035 Grottaminarda (AV), tel. +39-0825421911, fax. +39-0825421937.
(***) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Via Donato Creti 12, 40128 Bologna, tel. +39-0514151440, fax. +39-0514151498.

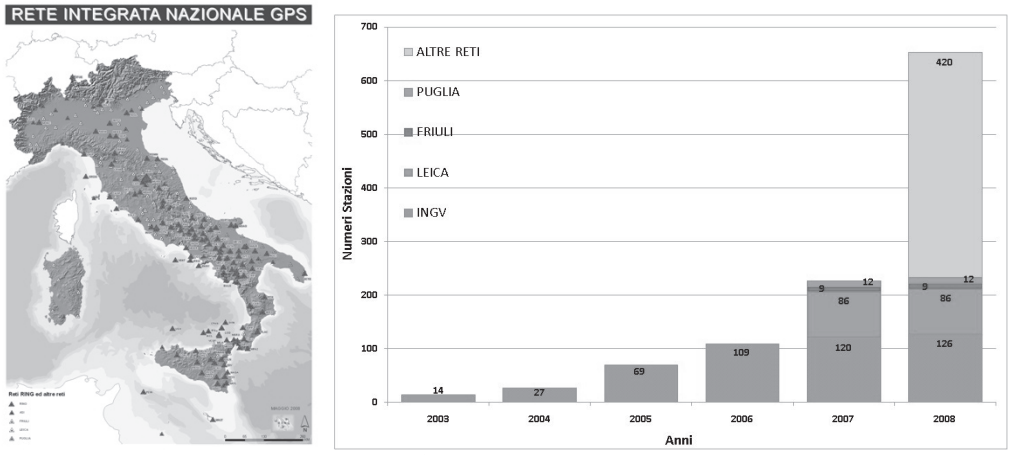
Riassunto
Dal 2004, l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) ha intrapreso la creazione di una infrastruttura tecnologica con il proposito di studiare alcuni aspetti di tettonica attiva in Italia ancora insoluti. Una rete GPS permanente, la Rete Integrata Nazionale GPS (RING), composta da ormai circa 130 stazioni, è stata costruita in modo da coprire tutto il territorio italiano. Lo sviluppo e la realizzazione di una monumentazione del caposaldo GPS stabile nel tempo, l'integrazione con altri strumenti di sismologia classica e la scelta di una trasmissione dei dati sia via satellite che via internet rendono la RING una delle più innovative e affidabili reti GPS permanenti al mondo. Lo sviluppo della rete è stato accompagnato da uno sviluppo tecnologicamente avanzato di tutti gli aspetti relativi all'acquisizione dei dati e ai relativi contenuti informativi. Per questo, un database ed un SIT sono stati sviluppati per sintetizzare e mostrare in una interfaccia web e una geografica le informazioni relative ai siti RING. I dati GPS vengono analizzati da tre softwares scientifici al fine di confrontare i risultati e di ottenere una più robusta soluzione del campo di velocità.

Abstract
Since 2004, an important technological infrastructure has been created in Italy by INGV in order to investigate active tectonics targets for which an open debate exists. A continuous GPS network, the RING, constituted by about 130 stations, has been deployed all over Italy. The development and the realization of a stable GPS monumentation, the integration with other classical seismological instruments and the choice of both satellite and internet data transmission make this network one of the most innovative and reliable CGPS networks in the world. The development of the CGPS network has been accompanied by a technologically advanced development of all the aspects related to data acquisition and data information mining: a database and a SIT, which has been developed to be fully integrated with the Knowledge Management technology and it is aimed to synthesize and to display in a geographic interface the information of the RING sites. The GPS data are analyzed by three different scientific softwares in order to compare the results and to obtain a more robust velocity field solution.

Implementazione della rete RING

Le reti permanenti GPS costituiscono una importante risorsa per una serie di studi tecnologici e scientifici. La carenza di conoscenze in studi di tettonica attiva, che comprendono anche la parte di

sismologia come l'accumulo di deformazione sulle faglie, è stata a lungo frenata dalla mancanza di reti permanenti GPS sufficientemente dense distribuite su tutto il territorio nazionale. I primi lavori che fanno uso dei risultati del GPS non hanno portato ad una soluzione dei problemi maggiori lasciati aperti precedentemente. In particolare la definizione di una placca Adriatica e la sua terminazione meridionale sono ancora materia di dibattito (Oldow et al., 2002, Battaglia et al., 2004). Inoltre, di recente, alcuni importanti lavori (Hollenstein, et al., 2004, D'Agostino and Selvaggi, 2004, Serpelloni et al., 2005) hanno mostrato che valori di deformazione molto più alti di quanto si pensava prima sono stati effettivamente riscontrati nella nostra regione e che solo l'uso di una rete densa di stazioni, quindi di un campionamento alto attraverso le aree dove sono maggiori le velocità relative, permette di osservare in modo corretto il rilascio, o accumulo, di deformazione. Infine, il contributo della geodesia alla sismologia sta diventando sempre più importante sia nella definizione del rilascio cosismico durante un terremoto e sia nell'osservazione e modellazione dell'accumulo intersismico di deformazione elastica su faglie attive.
Da qualche anno, l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) ha impiegato notevoli risorse e sforzi per rispondere a tali temi scientifici. Selvaggi et al. (2006) hanno mostrato i primi sviluppi e le prime basi di una rete GPS permanente, la Rete Integrata Nazionale GPS (RING), creata con l'obiettivo di dare un forte contributo scientifico ai temi sopra citati. La rete RING (Fig. 1a), nella sua completezza, rappresenta ad oggi non solo un punto di riferimento per studi di carattere scientifico ma anche una robusta infrastruttura tecnologica e informatica per l'archiviazione dei dati GPS per diverse altre reti locali e regionali (Regione Puglia, Regione Friuli, Leica Geosystems). Tali reti, con i loro dati contribuiscono quotidianamente a popolare il data server per un totale di più di 300 stazioni distribuite sul territorio nazionale (Fig. 1b).



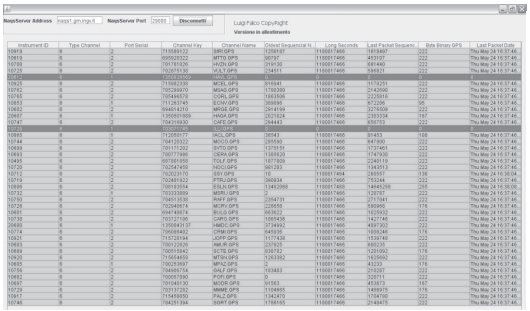
a) b)

Fig. 1: a) mappa dell'attuale rete RING e b) crescita della rete RING (in blu, espressa in numero di stazioni per anno). Sono mostrati anche i contributi delle reti che utilizzano l'infrastruttura della RING (verde=Leica Geosystems, rosso=Puglia; viola=Friuli). In giallo, invece, nell'ultimo istogramma è rappresentato il numero di stazioni di altre reti (italiane e non), utilizzate nell'analisi dei dati.

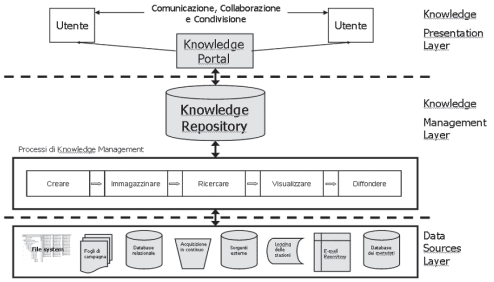
Infrastruttura tecnologica della rete RING

La corretta ricezione di dati GPS viene monitorata tramite un software, GpsView, scritto e implementato da personale della sede INGV di Grottaminarda.
Il software, scritto in linguaggio Java, consente di monitorare in tempo reale la situazione delle stazioni GPS che utilizzano come vettore di trasmissione il sistema satellitare Nanometrics. Esso si

connette al sistema centrale di acquisizione e, per ciascun canale GPS, analizza i dati che vengono ricevuti, estraendo da essi informazioni utili (dati binari, tempo di arrivo dell'ultimo pacchetto, numero seriale degli strumenti, etc.). In base a queste informazioni GpsView mostra a video lo stato di ciascuna stazione (Fig. 2a).



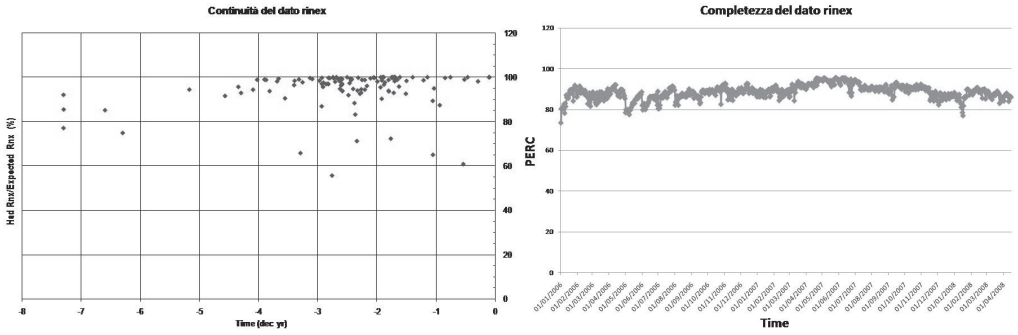
a)



b)

Fig. 2: a) Schermata di GpsView (verde = trasmissione OK; rosso = stop di trasmissione); b) Infrastruttura del Knowledge Management.

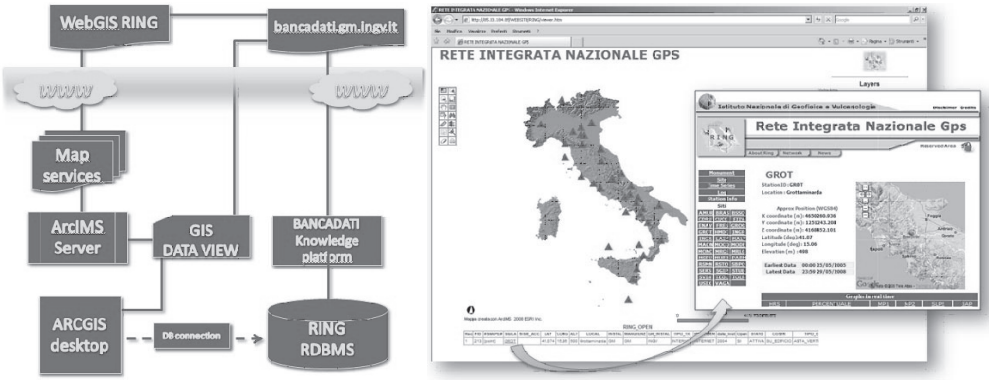
Al fine di accrescere e stimolare la collaborazione tra i differenti gruppi di lavoro, è stato sviluppato un ambiente collaborativo che si avvale delle recenti tecniche di "Knowledge Management". Tale approccio ha condotto alla creazione di una infrastruttura tecnologica finalizzata alla completa gestione e condivisione dei dati e del relativo contenuto informativo, il cui schema implementativo (Fig. 2b) è suddiviso in tre layers principali concernenti fondamentalmente: i dati, il software di gestione ed i servizi web. Tali servizi permettono di accedere, da qualsiasi postazione internet, alle normali funzioni di amministrazione e gestione delle stazioni GPS quali: la generazione di file Log delle stazioni GPS, la loro consultazione, la creazione di monografie, la creazione dei grafici sulle serie temporali o anche la verifica della completezza delle osservazioni alle stazioni; tutte funzioni che avvengono dinamicamente dal database. Di seguito proponiamo due esempi di grafici che testimoniano la qualità della rete RING: la continuità e la completezza del dato rinex. La continuità del dato rinex (Fig. 3a) viene qui rappresentata dall'andamento con il tempo del rapporto tra il numero di rinex effettivamente presenti nel database e quello teorico (Had Rnx/Expected Rnx). La RING dopo una prima fase (stazioni più vecchie) mediamente discreta, è riuscita a garantire una migliore e quasi ottimale continuità del dato, soprattutto grazie ad un miglioramento della trasmissione (uso del satellitare e di internet). Un altro parametro interessante è rappresentato dal "grado di completezza" dei vari rinex attualmente acquisiti e archiviati. Tale grado di completezza viene espresso dal rapporto PERC = (Had/Expected)/(hours), dove Had, Expected e hours sono rispettivamente i parametri che si ottengono dal controllo di qualità di ogni singolo rinex con il software teqc. La rete RING è fortemente migliorata nel corso del tempo e il grafico (Fig. 3b) mostra che, dall'apertura della rete nel 2006, i dati rinex di tale rete sono disponibili con grado di completezza medio del 90%. Dal database è inoltre possibile monitorare lo stato delle stazioni attraverso la creazione della storia dei malfunzionamenti o dei problemi delle stazioni. Questi servizi sono stati progettati con l'intento di favorire sia lo scambio di dati, informazioni e conoscenze (know-how) all'interno della struttura che di creare un database centralizzato (*Bancadati*) per l'implementazione del Sistema Informativo Territoriale della RING (Cecere, 2007).



a) b)

Fig. 3: Grafici concernenti rispettivamente la continuità (a) e il grado di completezza (b) del dato rinex acquisito per le stazioni della rete RING.

Il Sistema Informativo Territoriale della RING è stato sviluppato in modo da integrarsi il più possibile all'infrastruttura tecnologica di "Knowledge Management" finalizzata alla gestione e condivisione dei dati della RING (Fig. 4a). In particolare, lo scopo del SIT è stato quello di cercare di sintetizzare e visualizzare in un'interfaccia di tipo geografico le informazioni relative alle stazioni e ai siti della rete GPS, integrandole con dati territoriali come la cartografia topografica e la cartografia geotematica, ma anche con database geologici, sismologici e sismo-tettonici. Il SIT è stato realizzato in ambiente ESRI ARCGIS rel.9.x sfruttando il Geodatabase, un modello dati completo per i dati GIS che permette di accedere e lavorare con tutti i file e formati geografici. Fisicamente il geodatabase è dato da una collezione di dati archiviati in un file system o in un DBMS. I dati delle stazioni GPS della Rete RING presenti nel Geodatabase provengono direttamente dal RDBMS della RING residente su ORACLE XE rel.10g grazie ad una connessione di tipo OLE DB gestita in ambiente ESRI ArcCatalog: questo permette un aggiornamento in tempo reale di qualsiasi variazione sui dati relativi ai siti e alle stazioni della RING. Attraverso la piattaforma ArcGis Desktop questi dati vengono così integrati all'interno di viste geografiche (GIS DATA VIEW) con gli altri database territoriali. I dati così organizzati nelle Data View costituiscono la base di partenza per una serie di prodotti del Sistema Informativo Territoriale della RING come ad esempio la creazione di specifiche mappe tematiche o la produzione di file KML (Keyhole Markup Language) per Google Earth.



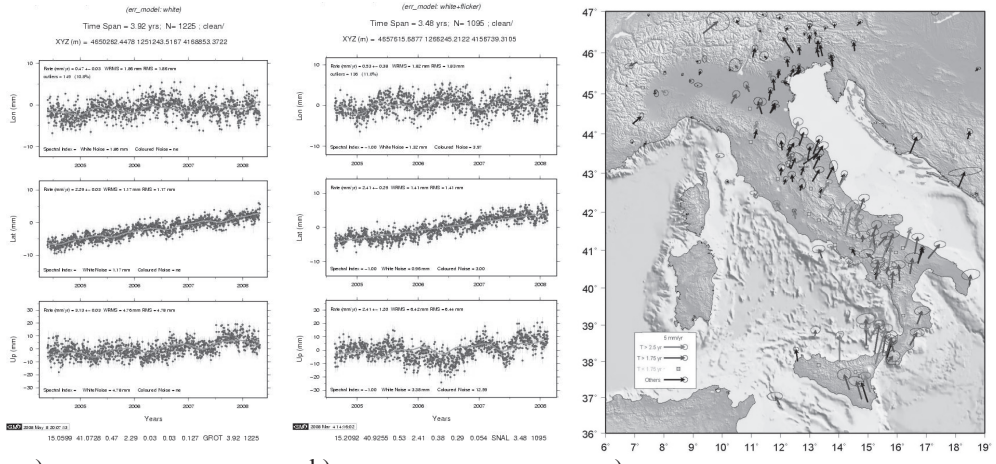
a) b)

Fig. 4: a) Architettura del SIT della RING; b) Interfaccia WebGIS della RING con collegamento a http://bancadati.gm.ingv.it

La pubblicazione dei dati sul web avviene attraverso il WebGis della RING (Fig. 4b), un'interfaccia user-friendly sviluppata in HTML partendo dal client base di ArcIMS: all'interno sono visualizzabili tutti gli strati informativi presenti nel Geodatabase, opportunamente classificati e tematizzati. Le funzionalità sono quelle di base di ArcIMS, strumenti di navigazione territoriale, selezione, interrogazione per attributi e di tipo spaziale, analisi di prossimità (buffer) e di stampa. Inoltre, è stato implementato lo strumento per l'interrogazione (identify) del Layer delle stazioni della RING cosi da consentire di interrogare una stazione e collegarsi direttamente alla piattaforma http://bancadati.gm.ingv.it e ottenere in tempo reale informazioni sul sito, scaricare i file log, le schede della manutenzione ed anche i dati GPS.

Analisi dei dati e campo di velocità

L'analisi dei dati GPS acquisiti alle varie stazioni della RING viene effettuata con tre software scientifici con la tecnica del GPS differenziale: il Bernese (Beutler et al., 2007), il GAMIT (King, Bock, 2007) e il Gipsy/Oasis (Zumberge et al., 1997, Blewitt, 2006). I dati di tutte le stazioni vengono analizzati simultaneamente rispetto alla posizione dei satelliti (soluzione di rete) in modo da ottenere, per ogni punto, coordinate con una precisione dell'ordine di 1-2 mm/anno sulla componente orizzontale e di circa 5-6 mm/anno sulla componente verticale. Le Fig. 5a e Fig. 5b mostrano due esempi di serie temporale di alcuni siti della rete RING. Dalle figure, si nota lo standard di qualità, nella continuità del dato e nella poca dispersione dei punti delle diverse soluzioni giornaliere, verso cui la rete RING tende in modo da rispondere a quegli obiettivi scientifici sopra descritti con la migliore precisione possibile. Il campo di velocità risultante viene espresso rispetto ad un sistema di riferimento per eliminare il trend regionale legato alla velocità della placca. Il sistema di riferimento utilizzato in questo caso è detto "Europa stabile" ed è ottenuto minimizzando i valori di velocità di un significativo numero di stazioni site sulla placca euroasiatica. La Fig. 5c mostra la velocità dei siti della RING rispetto a tale sistema di riferimento. Tale campo di velocità mette in evidenza i principali regimi di deformazione presenti nelle varie aree sismo-genetiche, dallo Stretto di Messina all'Appennino Meridionale, dall'Appennino Centro-Settentrionale alle Alpi.



a) b) c)

Fig. 5: a) e b) Esempi di serie temporali di due stazioni RING (GROT e SNAL); c) Campo di velocità ottenuto dall'analisi dei dati.

I valori di velocità mostrano una netta estensione esistente lungo tutta la catena appenninica quantificabile in circa 2-3 mm/anno. I vettori sul versante adriatico della catena, da nord a sud,

mettono in evidenza una rotazione in senso antiorario di questo blocco apparentemente rigido con perno nella zona occidentale della pianura padana. Sul versante tirrenico, invece, traspare la rotazione oraria, nello stesso sistema di riferimento, della zona della piana campana. Le velocità relative (rispetto alle loro incertezze) tra le poche stazioni in Calabria e quelle nelle zone di avanpaese (sui monti Iblei, in Sicilia, e in Puglia), così come quelle tra la Puglia e l'Italia centro-settentrionale ed in Friuli sembrano già essere sufficientemente definite per poter trattare alcuni dei temi scientifici che la rete RING si prefiggeva. Sicuramente, tra un paio di anni, la continua acquisizione di tali dati, congiuntamente a quelli provenienti da altre stazioni GPS permanenti più giovani, e la loro sistematica elaborazione permetteranno di avere un dettaglio del campo di deformazione ancora maggiore e di poter cominciare a studiare le singole strutture sismo-genetiche per capire come la deformazione sulle tali singole strutture venga accumulata.

Bibliografia

Battaglia M., Murray M. H., Serpelloni E., Bürgmann R. (2004), The Adriatic region: An independent microplate within the Africa – Eurasia collision zone, *Geophys. Res. Lett., 31*, *L09605,* doi:10.1029/2004GL019723.

Beutler et al. (2007), Bernese GPS Software, edited by Dach, R., U., Hugentobler, P., Fridez,, M., Meindl, Astronomical Institute, University of Bern, January 2007.

Blewitt, G., 2006, . The fixed point theorem of ambiguity resolution for precise point positioning of GPS networks: Theory and applications, *Eos Trans. AGU, 87(52), Fall Meet. Suppl., Abstract G43A-0977*.

Cecere, G., (2007), La piattaforma tecnologica di gestione dati e informazioni della Rete Integrata Nazionale GPS (RING), Rapporto Tecnico INGV, n. 52, 2007, 29 pp

D'Agostino N., Selvaggi G. (2004), Crustal motion along the Eurasia – Nubia plate boundary in the Calabrian Arc and Sicily and active extension in the Messina Straits from GPS measurements, *J. Geophys. Res., 109, B11402,* doi:10.1029/2004JB002998.

King, R. W., Bock Y. (2007) Documentation for the GAMIT Analysis Software, Release 10.01, Mass. Inst. of Technology, Cambridge, MS.

Hollenstein, C. H., H.-G. Kahle, A. Geiger, S. Jenny, S. Goes, and D. Giardini (2003), New GPS constraints on the Africa-Eurasia plate boundary zone in southern Italy, *Geophys. Res. Lett., 30(18), 1935,* doi:10.1029/2003GL017554.

Oldow J. S., Ferranti L., Lewis D. S., Campbell J. K., D'Argenio B., Catalano R., G., Carmignani L., Conti P., Aiken C. L. V. (2002), Active fragmentation of Adria, the north African promontory, central Mediterranean orogen, *Geology, 30 (9), 779 – 782*.

Selvaggi, G., Mattia M., Avallone A., D'Agostino N., Anzidei M., Cantarero M., Cardinale V., Castagnozzi A., Casula G., Cecere G., Cogliano R., Criscuoli F., D'Ambrosio C., D'Anastasio E., DE Martino P., DEL Mese S., Devoti R., Falco L., Galvani A., Giovani L., Hunstad I., Massucci A., Minichiello F., Memmolo A., Migliari F., Moschillo R., Obrizzo F., Pietrantonio G., Pignone M., Pulvirenti M., Rossi M., Riguzzi F., Serpelloni E., Tammaro U. & Zarrilli L. (2006), La Rete Integrata Nazionale GPS (RING) dell'INGV: un'infrastruttura aperta per la ricerca scientifica, *X Conferenza ASITA, Bolzano, Atti Vol. II, 1749-1754*.

Serpelloni, E., M. Anzidei, P. Baldi, G. Casula, and A. Galvani (2005), Crustal velocity and strain-rate fields in Italy and surrounding regions: New results from the analysis of permanent and non-permanent GPS networks, *Geophys. J. Int., 161, 861–880,* doi:10.1111/j.1365-246X. 2006.06218.x.

Zumberge, J. F., Heflin, M. B., Jefferson, D. C., Watkins, M. M., and Webb, F. H., 1997, Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks: *Journal Geophysical Research, v. 102(B3), p. 5005-5018*.

RILIEVO COSTIERO DA IMBARCAZIONE MEDIANTE UTILIZZO INTEGRATO DELLA TECNOLOGIA LASER SCANNER E MULTIBEAM INTERFEROMETRICO

Marco BACCIOCCHI (*), Paul BYHAM (**), Dario CONFORTI (***)

(*) Codevintec Italiana S.r.l, Via Labus 13, Milano, Italy
(**) SEA Ltd, 17 Castle Corner, Bekington, UK
(***) Optech Inc, 300 Interchange Way, Vaughan, Ontario, Canada

1 Riassunto

Il lavoro descritto consiste nel rilievo dell' area di Porto Venere, che include la chiesa di San Pietro, la facciata rocciosa sotto di essa e l'intera baia. Tale rilievo è stato eseguito in due momenti differenti, con due diversi approcci.
La prima campagna è stata effettuata nel Settembre 2006 (presentata ad Asita 2007) utilizzando il laser scanner terreste ILRIS 3D e rilevando l'intera chiesa al'interno e all' esterno; successivamente i due modelli georiferiti sono stati uniti, creando un unico modello tridimensionale.
La seconda campagna, argomento di questo articolo, è stata condotta nel Giugno 2008, utilizzando due diversi sensori; i dati sono stati acquisiti dalla barca nello stesso momento, impiegando il laser scanner ILRIS MC *(Motion Compensation*) ed il multibeam interferometrico SWATHPlus - H.
I due sistemi son stati georiferiti ed orientati durante il rilevo utilizzando la piattaforma inerziale Applanix Pos MV 320.
Il risultato finale consiste in un modello 3D completo dell' intera baia sopra e sotto il livello dl mare, integrato con la scansione ad alta risoluzione della chiesa eseguita nel 2006.

Abstract

Laser scanning and interferometric bathymetry represent the cutting edge of coastal survey technology and can be very beneficial for mapping complicated waterside areas.
Since 2005 Codevintec tested the integration of these two methodologies, carrying out a number of high resolution surveys, generating a complete and accurate digital model of areas both above and below water level, a result inimitable by any other topographical survey method.
The 3D-laser scanner used to scan the areas above water level was an Optech ILRIS-ER that allows scanning in dynamic from the boat while a SEA SWATHplus-H wide swath sonar system was used to collect underwater topography.
A combined GPS and inertial platform (Applanix POS/MV 320) is used to measure position and 3D attitude of the two sensors during the survey.
The similarity of the data provided by the two systems (point cloud and intensity value) makes it easy to integrate the two surveys using PolyWorks commercial software. The final product is a single 3D model made up of bathymetry and topography.
The trial has been carried out with the Italian Navy (Istituto Idrografico della Marina Italiana) in the delightful Porto Venere (Italy) and in particular the area around Fortress/Church of San Pietro has been scanned. This little church sits on the rocky promontory and emanates a sense of serenity that it is hard to imagine anywhere else in the world. The church was built by the Genoese between 1256 and 1277 on the ruins of a Paleochristian church that had been built over a pagan temple dedicated to the goddess Venere Ericina (Venus Erycina). She was closely associated with the history of Portovenere.

1 Rilievo dinamico - 2008

Nel Dicembre 2007 l'Istituto Idrografico della Marina, dopo aver testato con successo le apparecchiature ha deciso di acquistare congiuntamente uno multibeam interferometrico SEA ed una piattaforma inerziale Applanix. Questo avvenimento, unito alla volontà di sperimentare sempre nuove tecnologie, ha dato la possibilità di testare presto la combinazione delle due tecniche di rilievo descritte.
Dopo una scrupolosa preparazione il secondo rilievo è stato eseguito nel Giugno 2008, integrando i due differenti sensori installati sulla stessa barca.
Il laser Optech ILRIS-MC ed il sonar SWATHplus sono stati montati su una lancia della nave idrografica Magnaghi e sono stati integrati alla piattaforma inerziale e GPS Applanix POS MV 320, con lo scopo di fissare in ogni istante i parametri di posizione ed assetto
Sia lo SWATHplus che l'ILRIS-3D offrono diversi vantaggi rispetto alle tradizionali tecniche di rilievo: velocità ed efficienza nell'acquisizione, accuratezza e ridondanza dei dati sono solo ne sono alcuni esempi.

1.1 Tecnologia

ILRIS MC
La tecnologia laser a scansione si basa sul calcolo del tempo di volo di un impulso laser.
Il sistema registra le coordinate Cartesiane XYZ di ogni misura cosi' come l'intensità del raggio riflesso.
L'ILRIS MC restituisce dati 3D compensati in modo estremamente accurato dalla componente di moto, grazie all'ausilio del sistema Applanix POS MV 320 che corregge l'orientamento e la posizione del sensore, generando automaticamente una nuvola di punti georiferiti.

SWATHplus
Il SEA SWATHplus è un sonar in grado di acquisire porzioni molto ampie di batimetria ad alta risoluzione mediante una singola striscaita.
Grazie alle sue caratteristiche la SWATHplus è estremamente utile in acque basse (fino a 200 metri) installato su piccolo imbarcazioni. La tecnologia interferometria misura la distanza dal tempo di propagazione dell'onda e gli angoli dalla differenza di fase calcolata dai quattro trasduttori equispaziati ed installati sullo scafo. Anche lo SWATHplus è connesso all'Applanix POS MV 320 per correggere l'orientamento e la posizione di ogni impulso. Il risultato finale è una griglia regolare georiferita di punti XYZ.

Applanix POS Mv 320
L' Applanix POS MV 320 contiene tre giroscopi e tre accelerometri che misurano la accelerazione e la velocità angolare in modo da tener conto di ogni aspetto del movimento dell' imbarcazione: posizione, velocità, altezza, accelerazione, orientamento e rotazione.
Due antenne GPS a doppia frequenza (L1/L2) tracciano la traiettoria della barca fornendo la georeferenziazione basilare per la navigazione e per l'acquisizione dei dati.
Viene inoltre usata la correzione differenziale in real time (RTK) o in post processing per rifinire il dato georiferito. La stazione base utilizzata per correggere il dato è generalmente installata vicino ad un punto noto (GCP) nelle vicinanze della zona d'interesse. E' anche possibile utilizzare reti di stazioni base. L'utilizzo di tale correzione può far migliorare la posizione assoluta fino a valori centimetrici.

1.2 Integrazione dei sensori

Lo SWATHplus riceve i dati binari direttamente da sistema di posizionamento a fornisce in tempo reale una nuvola di punti georiferita ed un'immagine sidescan del fondale. Questo output può essere migliorato sia utilizzando la correzione RTK sia in post processamento.

La connettività tra l'ILRIS MC ed il sistema di posizionamento è limitata alla sincronizzazione tra gli orologi dei due strumenti. Questa operazione è realizzata attraverso il settaggio di una connessione GPS PPS che permette al laser di marcare temporalmente i singoli eventi con il proprio orologio locale. Contemporaneamente è necessario settare una stringa GPS NEMEA per indicare l' orario preciso GPS dell' evento PPS prima citato. L'ILRIS utilizzerà quindi questo orario per stabilire l' offset tra il suo orologio locale ed il tempo GPS.
Uno dei punti più delicati nel predisporre questo tipo di rilievi è la conoscenza delle distanze relative tra ogni oggetto costituente l'intero sistema.
Il POS ha una sua posizione ed un suo orientamento all'interno della barca ed è importante conoscere esattamente l'orientamento e la posizione dell'ILRIS MC e dello SWATHplus rispetto al POS.
Per la nostra applicazione l' ILRIS MC è stato montato sul lato della barca in modo da scansire la costa mentre la barca navigava parallelamente ad essa. L'IMU (*inertial measurament unit*) è stato posizionato sulla stessa base dell'ILRIS allo scopo di minimizzare gli errori di assetto del dato lidar. Questo ha reso più facile il calcolo delle distanza relative, poiché gli assi dell' IMU coincidevano con quelli del laser.
Per calibrare i due sensori rispetto all'IMU sono state effettuate due differenti procedure di calibrazione sia per L'Ilris che per lo SwathPlus:
Lever Arm: Posizione relativa rispetto all'IMU (X, Y e Z)
Boresight: Orientamento angolare rispetto all'IMU (rollio, beccheggio e rotta).

1.3 Il rilievo
Il 19th Giugno 2008 sotto la guida degli Ufficiali Idrografi **Nicola Pizzeghello** e **Nunziante Langellotto**, il rilievo è stato eseguito seguendo più linee in modo da coprire l'intera area con una risoluzione ottimale per gli scopi prefissati.
La velocità della barca è variata tra i 2 ed i 4 nodi, i dati lidar e acustici sono stati acquisiti contemporaneamente.
L'area in esame è caratterizzata da mare mosso, che richiede un'attenta compensazione dei parametri di assetto. Il sistema inerziale ha acquisito alla frequenza di 100 Hz per tutta la durata del rilievo.
Sono stati eseguiti due diversi tipi di rilievo laser scanner utilizzando l'ILRIS MC:
Il primo bloccando uno specchio e scansendo per linee verticali. In questo caso la risoluzione lungo la traccia è data dalla velocità di crociera. Nel secondo caso la barca era ancorata di fronte alla facciata rocciosa ed è stato effettuato un rilevo pseudo statico, con lo scopo di migliorare la risoluzione finale (1-2 cm) e confrontare la qualità del dato.
Relativamente al rilievo batimetrico, è stato utilizzato il trasduttore a più alta frequenza (468 kHz) per monitorare un fondale marino profondo tra i 2 ed i 25 metri ottenendo una risoluzione di 10 cm.
La tecnologia interferometrica permette di acquisire anche un'immagine sidescan avente la stessa risoluzione e dimensione della batimetria. Questo consente di ottenere una nuvola di punti con le stesse caratteristiche del laser scanner (distanza ed intensità).
Inoltre è stata utilizzata una base GPS di supporto, posizionata nei pressi di un caposaldo all' interno dell' Arsenale (circa 5 km dall'area rilevata). Questa base ha acquisito alla frequenza di 1 Hz per tutta la durata del rilievo.

1.4 Elaborazione
I dati binari acquisiti dal POS MV sono stati successivamente processati con i dati della stazione GPS base utilizzando il software PosPac. Il risultato è il calcolo della *Smoothed Best Estimated Trajectory* (**SBET**) che è stata poi utilizzata come input per correggere sia i dati laser che quelli batimetrici.

I dati ILRIS MC sono stati processati immettendo il file SBET ed il file di calibrazione calcolato precedentemente nel software Parser della Optech. Il risultato ottenuto è una nuvola di punti ASCII georiferiti con grandissima precisione (attorno ad 1 – 2 cm di RMS).
Lo stesso software della SEA utilizzato per registrare i dati SWATHplus è stato utilizzato anche in fase di elaborazione per produrre la griglia batimetrica finale.
L'elaborazione comprende operazioni di filtraggio e definizione della griglia, oltre alla sovrapposizione dell'immagine sidescan alla batimetria. Durante questa fase, la disponibilità di tabelle di marea e di velocità del suono in acqua nelle aree osservate può migliorare sensibilmente il risultato.
Poiché ogni singolo rilievo è stato georiferito in WGS84 il software PolyWorks è stato utilizzato per integrare i tre set di dati (ILRIS 3D 2006, ILRIS MC 2008, SWATHplus 2008), ricavandone un modello tridimensionale completo ed accurato della baia di Porto Venere.

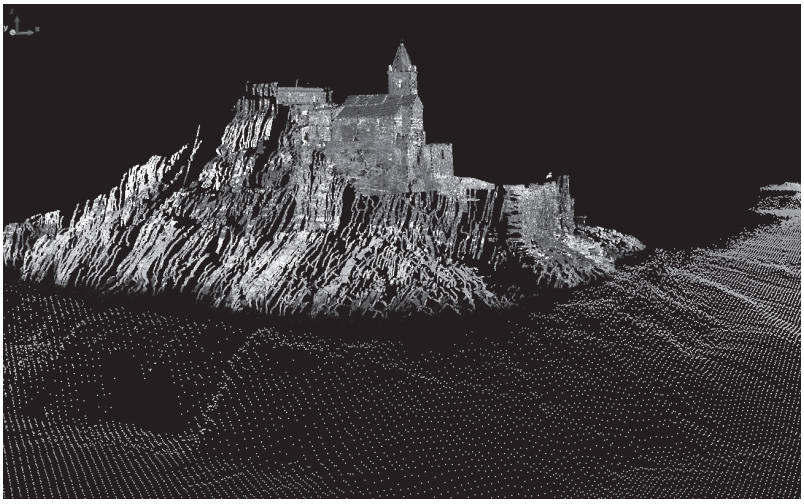


Figura 1 – Dati processati – Rilievo statico ad alta risoluzione 06, dinamico 08 e Batimetria

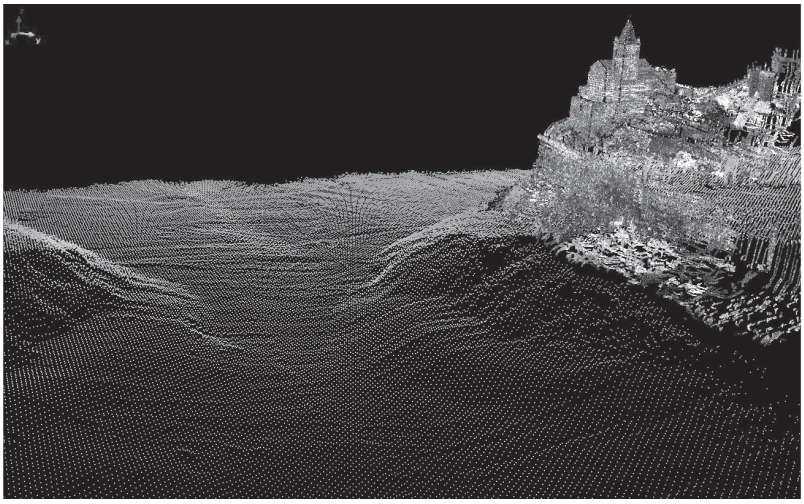


Figura 2 – Dati processati – Vista del canale e della fortezza.

2 Conclusioni

Sia il laser scanner che il multibeam interferometrico forniscono la capacità di rilevare grandi aree in tempi brevi con un'accuratezza assoluta attorno ai **5 – 10 cm** in funzione delle condizioni ambientali, restituendo un set di dati automaticamente georiferito che può facilmente essere usato per la rappresentazione della costa e del fondale marino**.**

I due sistemi sono da considerarsi assolutamente complementari. Nel caso in esame la fusione delle due tecnologie ha permesso di generare un modello digitale completo ed estremamente accurato delle diverse aree sopra e sotto il livello del mare, cosa impensabile con qualsiasi altra tecnologia di rilievo.

L'accuratezza nella georeferenziazione permette l'integrazione dei dati acquisiti in dinamico con quelli laser acquisiti da posizione fissa, permettendo di incrementare la risoluzione di oggetti di particolare interesse.

Relativamente alla nostra esperienza abbiamo notato che durante il rilievo laser dinamico è stata utilizzata una risoluzione verticale eccessivamente elevata. Questo ha costretto il laser ad impiegare tempo eccessivo a descrivere una singola linea verticale causando un degradamento della risoluzione lungo la traccia

Questo significa che il risultato, già notevole poteva essere ulteriormente migliorato abbassando la risoluzione verticale per ottenere una maggior risoluzione lungo la direzione orizzontale.

3 Crediti

Gli autori ringraziano sentitamente il comandante **Maurizio De Marte** dell'Istituto Idrografico per aver promosso la sperimentazione oggetto di studio e lo staff della " **Nave Magnaghi**" che si è rivelato essenziale per la pianificazione e la realizzazione del rilevo di Porto Venere. In particolare si ringrazia il Comandante **Massimo Tozzi** per l'accurata preparazione dell' intero lavoro.

Un grazie speciale va a Mark Field, Applanix Sales Manager per la divisione Marina, che ci ha guidato nell' istallazione e nella calibrazione del sistema, oltre ad aiutarci nell'elaborazione dei dati.

ANALISI DEL CONTESTO TERRITORIALE PER L'INDIVIDUAZIONE DI AREE SUSCETTIBILI DI RECUPERO AMBIENTALE

Giuseppe BAIAMONTE, Giuseppe BAZAN, Pasquale MARINO

Dipartimento di Scienze Botaniche dell'Università di Palermo, via Archirafi n. 38, 90123 – Palermo
Email: gbaiamonte@gmail.com, gbazan@unipa.it, pmarino@unipa.it

Riassunto
Nel presente contributo viene presentato uno strumento di analisi del contesto territoriale volto ad individuare, in seno ad un contesto ad alta naturalità, una zona in cui l'efficacia di un intervento di recupero ambientale sia massima. Infatti, al fine di individuare ambiti territoriali suscettibili di interventi di recupero ambientale e di definire le priorità di azione all'interno di un'area, non è sufficiente conoscere l'ambito territoriale con il valore di stato di conservazione più basso in assoluto ma è più proficuo individuare sistemi a bassa naturalità in prossimità di porzioni di territorio ben conservate.
Per l'analisi del contesto è stato opportunamente programmato in Python un algoritmo che confronta un sistema *target* con quelli contigui e pesa l'influenza di ognuno di essi in ragione della lunghezza della porzione di perimetro comune e del rapporto tra le superfici; a questi due valori viene attribuita maggiore o minore influenza sulla base delle caratteristiche topologiche di tutti i sistemi analizzati. I valori numerici risultanti, inversamente proporzionali all'integrità dell'area rispetto al suo intorno, sono stati suddivisi in tre classi di efficacia (bassa, media e alta).

Abstract
This paper presents a context analysis tool whose purpose is to identify, within an high naturality area, the site where a recovery intervention's effectiveness would be maximum. The most suitable area for effective intervention is a low naturality area contiguous to an high naturality context, not the least preserved in absolute terms. The analysis algorithm, programmed in Python, compares the target system to the adjacent ones and weighs the influence of each, taking into account common perimeter length and area ratio; these values have different relative relevance depending on topological characteristics of the systems involved. Calculation assigns each system a value which is inversely proportional to the integrity of the area compared to its surroundings. For better reference, these values are grouped in three effectiveness classes (low, medium, high).

Introduzione

Le caratteristiche di ogni singola tessera del mosaico territoriale rappresentano una base di dati fondamentale per le analisi impiegate in ecologia del paesaggio. Tuttavia, uno studio olistico del paesaggio deve tenere in considerazione, per ogni singolo elemento, non solo gli attributi intrinseci ma anche le peculiarità degli elementi circostanti e le relazioni spaziali ed ecologiche intercorrenti con essi. Infatti, il ruolo di un singola tessera all'interno di un sistema ecologico non è definibile come se questa fosse un elemento insulare e neppure limitandosi ad analizzare esclusivamente le proprietà del mosaico territoriale nella sua interezza. Un aspetto fondamentale nella valutazione della funzionalità ecologica di un sistema è il grado di eterogeneità o omogeneità da questo

espresso; dunque la differenza qualitativa esistente tra elementi adiacenti è da tenere in particolare considerazione.
Si pensi al diverso ruolo ecologico che ha una cava ai margini di un bosco piuttosto che all'interno di un'area industriale. Infatti, un'area degradata all'interno in un sistema integro rappresenta un elemento di disturbo per i processi ecologici ed ha un impatto maggiore rispetto a quello che potrebbe avere in un ambito degradato.
Gli strumenti di analisi che prendono in considerazione le relazioni tra le unità del mosaico territoriale sono comunemente basati sulla teoria dei grafi (RICOTTA & AL 2000; URBAN & KEITT, 2001), sulla network connectivity (FORMAN & GODRON, 1986), sull'indice gamma (FORMAN, 1995) o su altri strumenti di valutazione della natura dei contatti (CARRANZA & al., 2000). Tutti questi approcci forniscono informazioni sintetiche sulle differenze sia qualitative che quantitative della natura dei contatti tra i diversi elementi, espresse però soltanto per mezzo di valori riferiti all'intero mosaico territoriale e non di dati specifici ascrivibili alla singola tessera.
Al fine di individuare ambiti territoriali suscettibili di interventi di recupero ambientale e di definire le priorità di azione all'interno di un'area, con la finalità di ridurre la frammentazione degli habitat ed di mantenere o incrementare la naturalità diffusa, non è sufficiente conoscere l'ambito territoriale con il valore di stato di conservazione più basso in assoluto ma è necessario individuare sistemi a bassa naturalità in prossimità di porzioni di territorio ben conservate. A tale scopo è stato predisposto uno strumento di analisi territoriale volto ad individuare, in seno ad un contesto ad alta naturalità quale è il Parco delle Madonie, scelto come area di studio, una zona in cui l'efficacia di un intervento di recupero ambientale fosse massima.
Il percorso concettuale proposto, implementato in uno strumento software in ambiente G.I.S., pone dunque l'accento sulle relazioni esistenti tra i diversi elementi del paesaggio vegetale per mezzo di una procedura di analisi del contesto, basata sul confronto dell'indice dello stato di conservazione del paesaggio (I.L.C.), che consente di attribuire un valore di priorità di intervento non solo in base alle relazioni tra dati tabellari ma anche in funzione di dati topologici .

Materiali e metodi

Al fine di analizzare in maniera organica i dati a disposizione per il territorio in esame e di poter svolgere con efficienza e flessibilità le elaborazioni necessarie, tutte le informazioni raccolte sono state digitalizzate ed integrate all'interno di un Sistema Informativo Geografico opportunamente predisposto. L'ambiente scelto per l'implementazione del Geodatabase è stato ESRI ArcGIS, affiancato, in alcune operazioni, da Quantum GIS/Grass GIS (su piattaforma Linux OpenSUSE 10.3). Per i dati relativi alla copertura del suolo, si è fatto ricorso alla versione digitale della carta del paesaggio e della biodiversità vegetale del parco delle Madonie (RAIMONDO & al., 2004), aggiornata sulla base delle ortofoto digitali del Progetto IT2000 a scala nominale 1:10000. La carta del paesaggio vegetale è costituita da 23 tipologie e consta di 5.284 poligoni; l'unità minima cartografata è di 2.500 m^2. Inoltre, è stato condotto un censimento di dettaglio delle aree estrattive, individuate per fotointerpretazione e integrate nel sistema informativo.
I diversi tipi di vegetazione sono stati riclassificati in base al grado di naturalità espresso dalla struttura, dalla fisionomia e dalla composizione floristica determinate dall'attività umana sulla base della metodologia seguita da RAIMONDO (2000). Tale metodologia prevede 5 classi di naturalità: sistemi naturali, sistemi subnaturali, sistemi seminaturali, sistemi umano-rurali e sistemi umani ad utilizzazione intensiva. Questo ha permesso la redazione della carta del grado di naturalità che, attraverso l'incidenza e distribuzione delle varie classi, fornisce un primo utile elemento di giudizio sulla differenza tra la situazione vegetazionale esistente e la situazione corrispondente al maggiore grado di naturalità.
Allo scopo di ottenere unità territoriali di riferimento omogenee dal punto di vista ecologico, da sottoporre al processo analitico, l'area in esame è stata suddivisa in 42 sistemi di paesaggio riferibili a 10 diverse categorie secondo la metodologia proposta da BLASI & al. (2000).

Per la caratterizzazione climatica si è fatto riferimento ai dati termopluviometrici riportati da DURO & al. (1996). La classificazione bioclimatica è stata effettuata sulla base della metodologia proposta da RIVAS-MARTINEZ (2004). I dati climatici così elaborati sono stati dunque interpolati e spazializzati al fine di ottenere una carta delle regioni climatiche (regioni di paesaggio). L'area del parco delle Madonie ricade in 2 aree riferibili rispettivamente alla Regione climatica mediterranea ed alla Regione climatica temperata. La cartografia di base utilizzata è stata la Carta Tecnica Regionale in versione digitale (scala 1:10.000). Con i dati a disposizione è stato elaborato il modello digitale del terreno dell'intera area di Parco, necessario per la spazializzazione dei dati climatici e dal quale sono state, inoltre, derivate la carta altimetrica, la carta delle pendenze e la carta geomorfologica. La carta litologica è stata digitalizzata sulla base di dati cartografici della REGIONE SICILIANA (1996) integrati con dati di ABATE & al. (1982). La Carta litologica è stata organizzata in complessi che per l'area in esame sono l'arenaceo argilloso, l'argilloso, il carbonatico, il clastico di deposizione continentale, il conglomeratico e l'evaporitico. Dall'*overlay* dei due tematismi (Regioni di paesaggio + Litologia) è stata realizzata la carta del Sistemi di territorio. Si tratta di ambiti territoriali omogenei dal punto di vista fitocenotico e che presentano lo stesso tipo di vegetazione naturale potenziale a livello sintassonomico di allenza.
Per ogni sistema di territorio definito è stato effettato il calcolo dell'Index of Landscape Conservation, effettuato direttamente in ambiente GIS applicando la metodologia indicata da PIZZOLOTTO & BRANDMAYR (1996). Le classi definite per il calcolo dell'I.L.C. si basano su quelle utilizzate per la Carta del grado di naturalità.
Nel processo di analisi è stata inclusa anche un'area di buffer della larghezza di 2 Km esterna al confine del Parco, per la quale sono stati utilizzati i dati della Carta del Paesaggio e delle Biodiversità vegetale della Provincia di Palermo (RAIMONDO, 2000). Tale operazione è stata compiuta al fine di ottenere informazioni sulle adiacenze dei sistemi di paesaggio localizzati al margine dell'area protetta.
Per l'analisi del contesto è stato opportunamente programmato in Python l'algoritmo in grado di confrontare sistemi di territorio adiacenti e di valutarne le caratteristiche non solo in base ai dati intriseci, ma anche in relazione all'intorno di ciascuno di essi. Lo script è stato realizzato perchè vagliasse, uno per volta, tutti i sistemi di territorio individuati. Di ognuno di essi sono state utilizzate le informazioni relative al grado di naturalità espresso come valore di I.L.C. (Fig. 1).
Il programma confronta il sistema *target* con quelli contigui e pesa l'influenza di ognuno di essi in ragione della lunghezza della porzione di perimetro comune e del rapporto tra le superfici; a questi due valori viene attribuita maggiore o minore influenza sulla base delle caratteristiche topologiche di tutti i sistemi analizzati. È stato, inoltre, calcolato per ogni poligono l'indice di linearità di GUSTAFSON & PARKER (1992), sulla base del quale, l'algoritmo attribuisce maggiore peso alla lunghezza del perimetro comune, nel caso in cui la patch abbia forma lineare, ed alla superficie, in caso di forma areale. Questi calcoli sono serviti, in ultimo, ad assegnare ad ogni sistema un indice sintetico che rappresenta la differenza in termini di naturalità e conservazione del paesaggio tra esso ed il suo contesto (sistemi adiacenti). Il valore è inversamente proporzionale all'integrità dell'area rispetto al suo intorno. Questo dato ha permesso di individuare, su base analitica, aree degradate in contesto integro nelle quali un intervento di recupero ambientale avrebbe un significativo impatto positivo sulla naturalità diffusa nonché sulla connettività. Questo è stato verificato analizzando la variazione del grado di frammentazione a scala di dettaglio, prima e dopo l'ipotesi di intervento, impiegando opportunamente gli strumenti matematici proposti da RIITTERS & al. (2000).

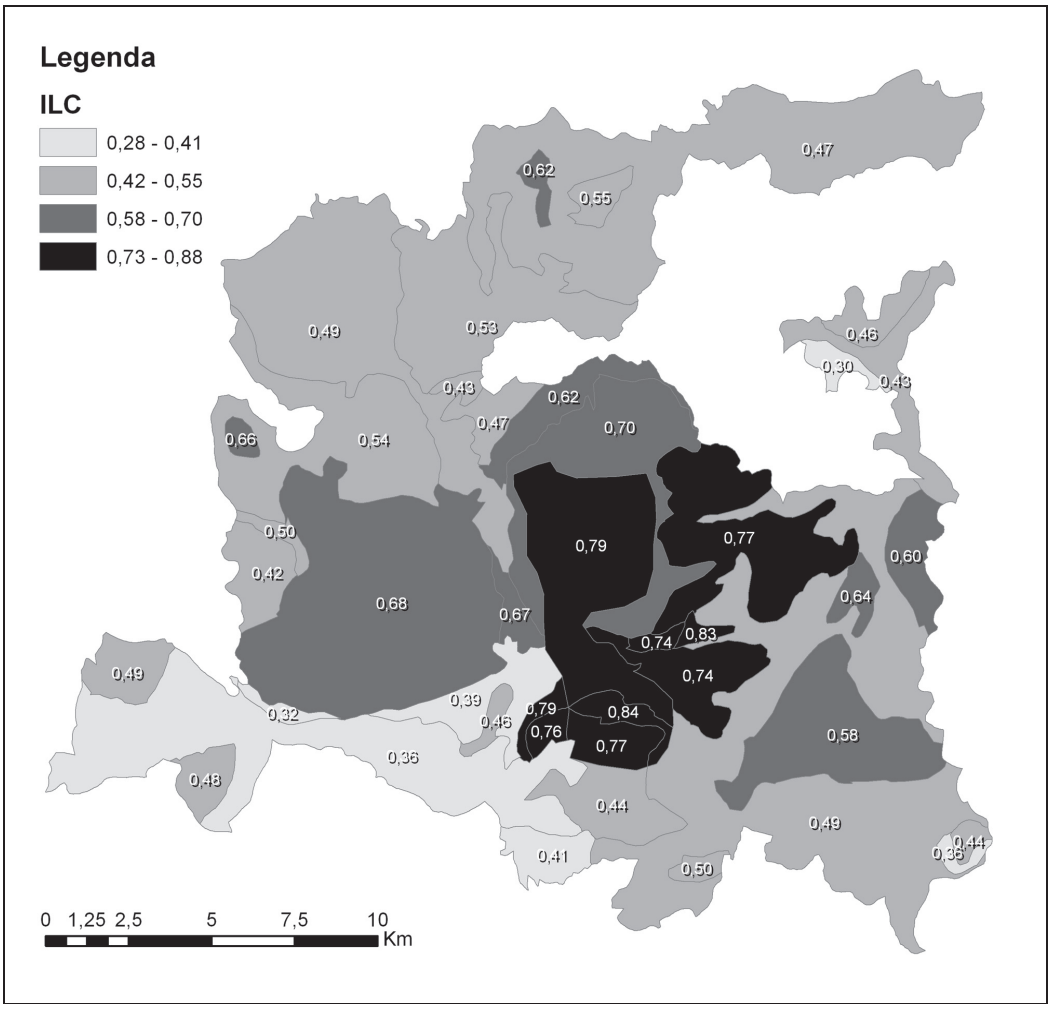


Figura 1 - Rappresentazione dell'ILC calcolato per i sistemi di territorio individuati.

Risultati

I valori numerici risultanti dall'elaborazione, sono stati suddivisi in tre classi di efficacia (bassa, media e alta), utilizzando il metodo natural breaks (JENKS, 1967), che rappresentano in quale misura un eventuale intervento, volto a riqualificare le aree estrattive presenti nelle porzioni di territorio individuate come descritto, arrecherebbe beneficio in termini di miglioramento della connettività, della naturalità diffusa e della conservazione del paesaggio.

Dei sistemi presi in esame, 33 rientrano nella classe più bassa, quella cioè in cui l'efficacia di un ipotetico intervento di riqualificazione sarebbe modesta o nulla. In questa categoria rientrano le aree centrali e molte di quelle ricadenti nelle Zone A e B del Parco, cioè quelle più integre e contigue ad altre aree a naturalità elevata, che hanno già una connettività elevata e un'ottima funzionalità ecologica. Oltre a queste sono presenti porzioni di territorio periferiche, già interessate da un'antropizzazione significativa ed adiacenti ad aree a bassa naturalità, in cui dunque un intervento su superfici modeste non sortirebbe alcun effetto.

Rientrano nella classe intermedia 8 sistemi di territorio. Si tratta principalmente di aree periferiche, che formano un "cuscinetto" interposto tra le porzioni del Parco a più alta naturalità ed il territorio circostante.
L'algoritmo ha assegnato un valore estremamente elevato soltanto ad uno dei 42 sistemi individuati (Fig. 2). In questo sono presenti due aree estrattive (Santa Croce ed Orto Menta) ed una piccola porzione di una terza (Portella Colla). Gli ambienti di cava presenti nel sistema di territorio individuato, con i criteri descritti, ricadono nelle immediate vicinanze dell'anfiteatro di Quacella, uno degli *hotspots* di biodiversità della Sicilia (RAIMONDO, & al. 1988). Lo strumento predisposto ha, pertanto, localizzato con grande precisione una porzione di territorio degradata contigua ad una delle aree più integre (e biologicamente ricche) dell'intero Parco. Ne consegue che questa sia la scelta d'elezione dovendo individuare un sito in cui pianificare un intervento di recupero ambientale volto all'incremento della naturalità diffusa e della connettività dell'area.

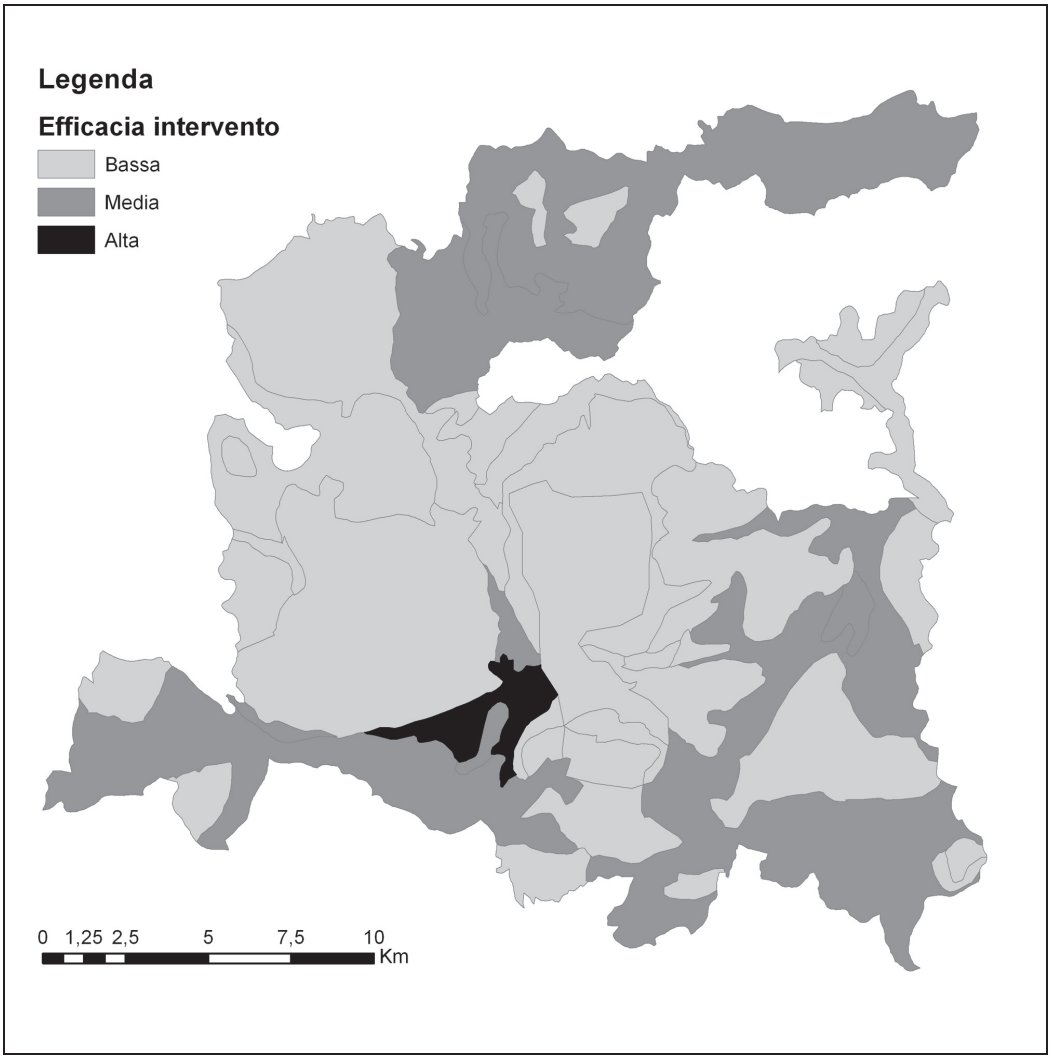


Figura 2 - Aree maggiormente suscettibili di recupero ambientale (in grigio scuro) sulla base dell'analisi del contesto territoriale.

L'applicazione di questo strumento e del percorso concettuale seguito, si presta in particolar modo alle analisi finalizzate ad una pianificazione territoriale basata su criteri ecologici. Una gestione del mosaico territoriale che ponga l'accento sulle relazioni esistenti e potenziali tra gli elementi e che sia finalizzata alla salvaguardia della struttura e funzionalità del paesaggio rappresenta un'azione indispensabile per la conservazione della biodiversità ad esso connessa.

Riferimenti bibliografici

Abate B., Catalano R., D'Argenio B., Di Stefano P., Renda P. (1982), "Carta geologica delle Madonie orientali" *Soc. Geol. It.,* Suppl. A, vol. 26.
Blasi C., Carranza L., Ercole S., Frondoni R., Marzio P. (2000), "Classificazione Gerarchica Del Territorio e Definizione Della Qualità ambientale", *Documenti IAED,* 4: 31-39.
Duro A., Piccione V., Scalia C., Zampino D. (1993), *Precipitazioni e temperature medie mensili in Sicilia relative al sessantennio 1926-1985,* 5° Workshop Progetto Strategico Clima, Ambiente e Territorio nel Mezzogiorno, Amalfi 28-30 Aprile.
Forman R. T. T. (1995), *Landscape mosaics*, Cambridge University Press.
Forman R.T.T., Godron M. (1986), *Landscape ecology*, Wiley.
Gustafson E., Parker G.R. (1992), "Relationship between land cover proportion and indices of landscape spatial pattern", *Landscape Ecol.,* 7:101-110.
Jenks, G.F. (1967), "The data model concept in statistical mapping", *International Yearbook of Cartography*, 7: 186-190.
Pizzolotto R., Brandmayr P. (1996), "An index to evaluate landscape conservation state based on land use pattern analysis and geographic information system techniques", *Coenoses*, 11: 37-44.
Raimondo F.M. (2000), "Carta del paesaggio e della biodiversità vegetale della provincia di Palermo", *Quad. Bot. Amb. Appl.,* 8(1998): 1-164.
Raimondo F. M., Certa G., Gianguzzi L., Ilardi V., Norata G. (1998), "Materiali per una nuova "flora palermitana", *Quad. Bot. Amb. Appl.*, 6(1995): 125-130.
Raimondo F.M., Schicchi R., Surano N. (2004), "Carta del paesaggio e della biodiversità vegetale del Parco delle Madonie (Sicilia)", *Naturalista sicil. S. 4,* 28(1): 71-137.
Regione Siciliana, Assessorato dei Beni Culturali Ambientali e della Pubblica Istruzione (1996), *Linee guida del piano territoriale paesistico regionale*, Palermo
Ricotta C., Stanisci A., Avena G.C., Blasi C. (2000), "Quantifying the network connectivity of landscape mosaics: a graph-theoretical approach", *Commun. Ecol.*, 1: 89-94.
Riitters K., Wickham J., O'Neill R., Jones B., Smith E. (2000), "Global-scale patterns of forest fragmentation", *Conservation Ecology*, 4(2): 3.
Rivas-Martínez S. (2004), *Global Bioclimatics (Clasificación Bioclimática de la Tierra),* Available at: http://www.globalbioclimatics.org. Accessed February 2008.
Urban D., Keitt T. (2001), "Landscape connectivity: a graphtheoretic perspective", *Ecology*, 82: 1205-1218.

VALUTAZIONE DEI DANNI PROVOCATI DA EVENTI SISMICI MEDIANTE IMMAGINI TELERILEVATE

Valerio BAIOCCHI (*), Raffaella BRIGANTE (**), Fabio RADICIONI (**)

* DITS – Area di Geodesia e Geomatica, "Sapienza", Università di Roma, Roma, Italia
valerio.baiocchi@uniroma1.it
**Università degli Studi di Perugia - Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Perugia, Italia
topos@unipg.it

Riassunto
La disponibilità di immagini satellitari stereo ad alta risoluzione consente di effettuare nuove applicazioni, tra cui l'estrazione di modelli digitali del terreno, la restituzione stereoscopica, nonché la possibilità di valutare cambiamenti e trasformazioni di aree a seguito di eventi catastrofici quali ad esempio quelli sismici. In quest'ultimo caso ovviamente, come in tutti gli studi di monitoraggio, si ha la necessità di effettuare dei confronti rispetto a delle situazioni antecedenti l'evento.
La tecnica fotogrammetrica può fortunatamente contare su numeroso materiale d'archivio, come ortofoto o fotogrammi aerei, consultabile e disponibile a prezzi relativamente bassi.
In questo lavoro viene illustrata una sperimentazione tesa a verificare le reali possibilità di utilizzo di immagini satellitari Ikonos per la valutazione dei cambiamenti causati da un evento sismico accaduto nel settembre del '97 nell'Italia centrale e che ha causato numerosi danni in diversi centri abitati della zona. Come confronto è stato utilizzato del materiale fotogrammetrico (ortofoto e fotogrammi aerei) della stessa zona realizzato negli anni antecedenti al sisma. Dal confronto, planimetrico e altimetrico, è stato possibile evidenziare delle variazioni nel tessuto urbano, come presenza di nuove costruzioni, cambiamenti della sede stradale, aree con diverso uso del suolo, ecc.

Abstract
The recent actual availability of stereopairs from high resolution satellite platform for civil users, disclose new possible fields of application as the automatic extraction of digital models of the surface (DSM), the stereoscopic restitution, as well as the possibility to appraise changes and transformations of areas following catastrophic events as, for instance, those seismic. In this last case obviously, as for all the monitoring studies, it's necessary to compare present situation to the pre seismic one.
The pre seismic situation can be advantageously extracted by classic photogrammetric techniques based on aerial frames, that are available in archives managed by photogrammetric companies and local government agencies.
In this paper is illustrated a first experimentation to verify the real possibilities of use high resolution satellite imagery acquired by the Ikonos platform, to evaluate the DSM variation caused by a seismic event happened in September of the '97 in Umbria (central Italy) and that caused numerous damages in different towns of the area. The DSM obtained will be compared with another model extracted (with the same techniques) from aerial imagery acquired before the event.

Introduzione
L'area in oggetto è caratterizzata da dorsali montuose piuttosto elevate sul versante orientale, ma anche da ambiti collinari e dalle piane fluviali del Topino e dell'affluente Menotre, con quote variabili tra i 300 e i 1200 m sul livello medio del mare. Sono presenti piccoli agglomerati urbani, costituiti per lo più da edifici a due - tre piani e qualche zona industriale con ampi capannoni. Il 26

settembre del 1997 è iniziata una crisi sismica, durata fino ai primi mesi del 1998, che ha colpito diversi comuni, a partire da quelli di Colfiorito e Cesi, con varie repliche di notevole intensità, in particolare quella del 14 ottobre 1997 che ha colpito il territorio di Sellano e Preci. Le aree investite dagli eventi sismici interessano gran parte del territorio regionale umbro, con danni soprattutto nelle zone della catena appenninica, nei comuni di Colfiorino, Tesina, Sostino, La Franca.



Figura 1 – Comuni maggiormente colpiti dal sisma

Per ognuno dei Comuni interessati, dopo aver effettuato rilievi particolareggiati, sono stati redatti programmi integrati di recupero, prevedendo il rifacimento degli edifici distrutti e la ristrutturazione di quelli danneggiati.
Con questo lavoro si vuole cercare di individuare le modificazioni avvenute nel territorio comunale, urbano ed extra urbano, a seguito degli eventi sismici del 1997, sfruttando la tecnica fotogrammetrica, in particolare mettendo a confronto delle immagini satellitari riprese nel 2006 dal satellite Ikonos, rappresentanti la situazione post sisma, e delle immagini aeree d'archivio del 1977 della stessa zona. Oltre ad un confronto planimetrico si vuole indagare l'altimetria, relazionando due DEM ottenuti con le suddette immagini.

Materiale e metodologie utilizzate

La situazione attuale è stata ricavata mediante delle immagini stereo Ikonos pancromatiche, cioè con risoluzione geometrica pari ad 1 m, ad 11 bit, del tipo Standard Geometrically correct, aventi geometria pseudo epipolare, con le quali è stata generata un'ortofoto ed è stato estratto un DEM mediante il modello rigoroso, implementato nel software PCI Geomatica OrtoEngine. I punti di appoggio, necessari per la creazione del modello fotogrammetrico, sono stati misurati mediante rilievo GPS in modalità NRTK e in modalità statico rapido. Il DEM ottenuto è stato validato mediante confronti con i punti di controllo, con punti quotati della Carta Tecnica Regionale e con tracciati cinematici rilevati durante le campagne di misura dei punti di appoggio, ottenendo una precisione dell'ordine dei 2-4 m in altimetria; per l'ortofoto, invece, la precisione planimetrica è risultata complessivamente inferiore alla dimensione del pixel, quindi inferiore al metro.
La situazione antecedente al sisma, invece è stata ricavata con delle immagini aeree d'archivio del 1977 in bianco e nero alla scala 1:33000, e a colori alla scala 1:13000, riprese dalla camera aerea Wild RC10, di cui si dispone di certificato di calibrazione, scansionate con Scanner fotogrammetrico Vexcel UltraScan 5000 a 1200 dpi. Tramite il software Socet Set della ditta Bae System è stato creato il modello fotogrammetrico, un modello digitale del terreno e delle ortofoto rappresentativi dell'area di studio così com'era trenta anni fa.
Come ulteriore materiale di confronto si è consultata un'ortofoto a colori della stessa zona del 1999, periodo in cui i danni causati dagli eventi sismici suddetti sono maggiormente visibili, in quanto gli edifici distrutti all'epoca non erano ancora stati ricostruiti.

Il confronto in planimetria è stato effettuato mediante il software Socet Set, eseguendo un *change detection* tra le ortofoto del 2006 e del 1977, mentre in altimetria si è operato in ambiente GIS effettuando "sottrazioni" tra DEM, confronti tra DEM e rilievi cinematici e sezioni verticali in determinate posizioni. E' importante comunque considerare che il confronto è avvenuto tra immagini molto diverse fra loro in termini di risoluzione geometrica, radiometrica e di intervallo temporale. Si è dovuto infatti eseguire una serie di elaborazioni delle due immagini (*matching* degli istogrammi di grigio, etc.) in modo tale da renderle radiometricamente quanto più simili possibile. Il *change detection* si basa, secondo quanto riportato nella documentazione del software, su un algoritmo di sottrazione pixel per pixel; i cambiamenti più elevati saranno evidenziati con una colorazione molto chiara o molto scura, mentre ciò che è rimasto invariato avrà una colorazione grigio uniforme.

Risultati

Il confronto planimetrico ha messo chiaramente in luce i cambiamenti avvenuti sia a causa del sisma, sia a causa di una forte espansione urbanistica della zona in oggetto. Infatti, come mostrato nelle figure 2 e 3, sono ben visibili gli edifici di nuova costruzione, le variazioni dei tracciati stradali e i nuovi usi del suolo, in particolare nelle zone extra urbane.

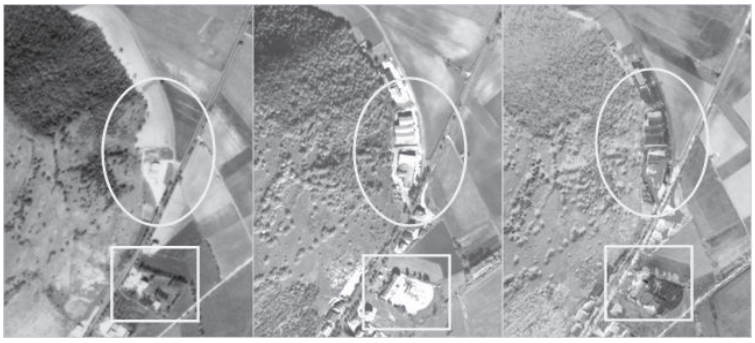


Figura 2 - partendo da sinistra: 1977, 2006, change detection: presenza di nuovi edifici

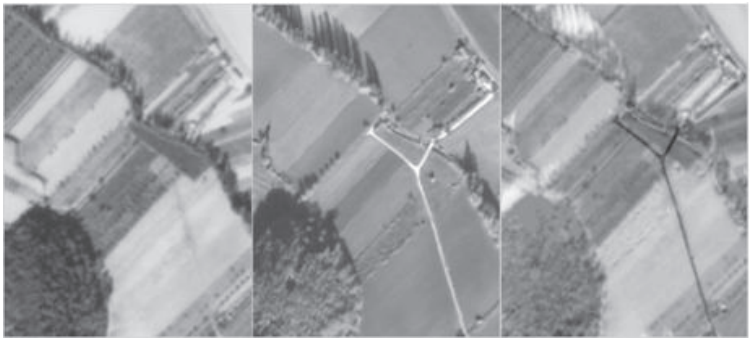


Figura 3 - partendo da sinistra: 1977, 2006, change detection: nuova strada in nero sulla destra

Allo stesso modo sono facilmente individuabili gli edifici presenti nel 1977 e distrutti dal sisma del 1996.



Figura 4 - partendo da sinistra: 1977, 2006, change detection: edificio distrutto nel riquadro

La documentazione fornita dal Comune di Foligno ha confermato i risultati ottenuti.

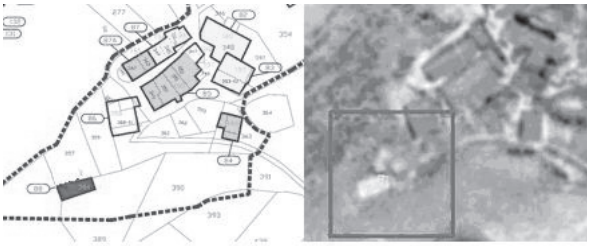


Figura 5 - Edificio distrutto in rosso sul rilievo e in bianco sul change detection

Laddove il *change detection* non rileva significativi cambiamenti, può essere di ausilio la differenza tra i DSM, tenendo comunque presente che le variazioni di quota riscontrate potrebbero essere causate anche da altri fattori e non esclusivamente dal sisma, in quanto il periodo di tempo intercorso tra le due prese (aerea e satellitare) risulta essere troppo ampio.
Come esempio vengono riportati i risultati ottenuti per un'area urbanizzata del Comune di Colfiorito sulla quale il *change detection* non rivelava particolari cambiamenti, e la cui situazione è riassunta in figura 6.

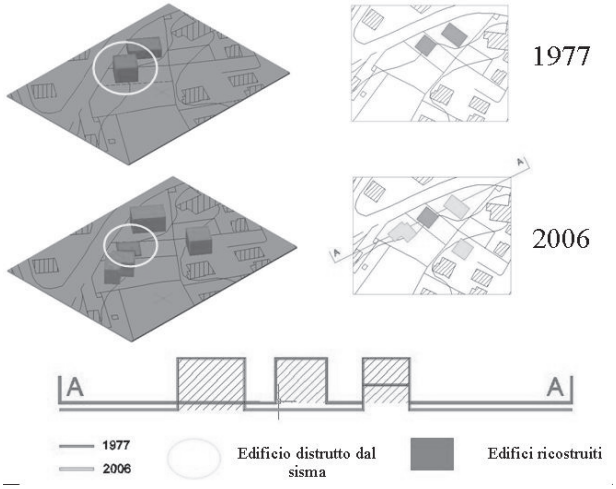


Figura 6 – Edificio cerchiato distrutto dal sisma

Nella stessa area il confronto di DSM evidenzia variazioni volumetriche positive e negative (comprese tra 5 e 10 m sia per la precisione dei DSM che per l'altezza degli edifici), dove con positive saranno evidenziate le volumetrie esistenti prima del sisma e non più esistenti nel 2006.



Figura 7 - La stessa area sulle immagini aeree del 1977, sull'immagine satellitare del 2006 e con le variazioni tra i DSM (in rosso positive, in blu negative)

Nella figura a destra si possono notare in rosso zone che rappresentano effettivamente l'edificio distrutto dall'evento e in blu edifici costruiti successivamente e non presenti prima del sisma.
Un altro esempio è riportato nella figura 8:

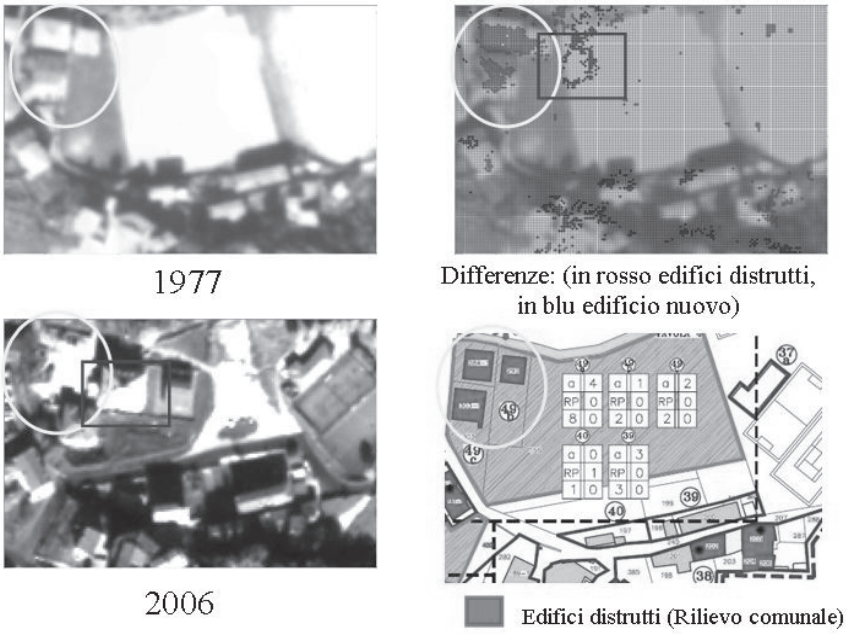


Figura 8 - Tre edifici presenti nel 1977, distrutti dal sisma ed evidenziati nell'ovale con variazioni tra i DSM negative; in blu nuovo edificio

Conclusioni

La sperimentazione in oggetto ha mostrato che gli algoritmi di *change detection* individuano molte delle variazioni avvenute nei centri edificati, tenendo conto che la ripresa post-terremoto, effettuata circa 10 anni dopo l'evento, non è sufficientemente rappresentativa delle conseguenze immediate del sisma; molti edifici sono infatti stati ricostruiti. Il lavoro ha comunque consentito di mettere in luce le variazioni del tessuto urbano e stradale, soprattutto in planimetria, tramite un semplice confronto di due ortofoto della stessa zona riferite ad epoche differenti. Sicuramente risultati

migliori sarebbero stati ottenuti avendo a disposizione delle immagini riprese in un intervallo temporale ristretto a cavallo del sisma, in modo tale da avere una documentazione fotogrammetrica della reale situazione pre e post-terremoto. Le stesse considerazioni possono essere fatte per l'altimetria. Il confronto di DSM ha permesso comunque di evidenziare variazioni non facilmente rilevabili con i soli algoritmi di *change detection*. A tal proposito resta da investigare l'influenza dei differenti algoritmi di estrazione di DSM utilizzati con le foto aeree e satellitari.
E' comunque importante sottolineare che è stato possibile confrontare dati iniziali molto diversi fra loro, elaborati separatamente con software diversi, ottenendo importanti informazioni sulle modifiche avvenute nel corso degli anni e soprattutto a seguito del sisma. Le immagini satellitari diventano quindi un utilissimo strumento oltre che per la generazione di ortofoto di ampie zone, con la possibilità di aggiornare la cartografia esistente o di crearne una nuova, anche per l'individuazione dei cambiamenti dell'edificato, riuscendo come in questo caso ad identificare edifici non più presenti.

Ringraziamenti
Si ringrazia il Comune di Foligno per aver fornito i programmi di recupero di tutti i comuni interessati dal sisma del 1996 e la Regione dell'Umbria per aver messo a disposizione i fotogrammi d'archivio del 1977.

Riferimenti bibliografici
Baiocchi, V., Crespi, M., De Vendictis, L. & Giannone, F. 2004. A new rigorous model for the orthorectification of synchronous and asynchronous high resolution imagery*, In Proceedings of the 24th EARSeL Symposium*, Dubrovnik (Croatia): 461-468.
Jacobsen, K., 2002. Mapping with IKONOS images. *In Proceedings of the 22th EARSeL Symposium,* Prague,: 98-104.
Fraser, C.S., Baltsavias, E. & Gruen, A. 2002. Processing of Ikonos imagery for submetre 3D positioning and building extraction. *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 56, February*: 177– 194.
Toutin, T., Chénier, R. & Carbonneau, Y., 2002. 3D models for high resolution images: examples with Quickbird, Ikons and EROS. *Proceedings of ISPRS Commission IV Symposium, Joint International Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications, Ottawa, July 8-12-2002*: 547-551.
Toutin, T., 2004. Geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and methods (review paper). *International Journal of Remote Sensing, 25 (10)*: 1893-1924.
Zhang L., 2005. Automatic Digital Surface Model (DSM) Generation from Linear Array Images. *PhD Dissertation, Institute of Geodesy and Photogrammetry*. ETH Zurich, ISBN 3-906467-55-4

PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DI UN GIS PER SCOPI GEOFISICI IN AMBIENTE OPEN-SOURCE: IL CATALOGO DEI TERREMOTI CON M≥5

Valerio BAIOCCHI (*), Mattia CRESPI (*), Pierluigi RENDICINI (*), Federica RIGUZZI (**)

(*) "Sapienza" Università di Roma, Area di Geodesia e Geomatica, DITS, 00184 Roma, via Eudossiana 18
tel. +390644585068, fax +390644585515, valerio.baiocchi@uniroma1.it
(**) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, sezione CNT, 00143 Roma, via di Vigna Murata 605
tel. +390651860266, fax +39065041303, riguzzi@ingv.it

Riassunto
I software GIS *Open source* già da qualche anno permettono di effettuare la gestione e l'analisi delle informazioni georiferite con funzioni e strumenti anche molto evoluti, permettendo tutte le applicazioni possibili con i più noti pacchetti commerciali. Negli ultimi anni tali funzioni di archiviazione ed analisi sono state implementate anche in ambienti GIS *Open source* con interfacce molto più immediate per gli utenti permettendo l'approccio anche ad utilizzatori poco esperti in maniera rapida ed intuitiva. In questo contributo sono stati archiviati ed analizzati dati di natura geofisica utili per successivi studi geodinamici, utilizzando un software GIS *open source* dall'uso molto intuitivo, mostrando come tali pacchetti siano ormai maturi per essere utilizzati in maniera semplice anche per analisi più complesse. Infatti a partire da dati georiferiti in formato testo, liberamente disponibili su web, è stato realizzato in maniera abbastanza semplice un archivio sul quale sono poi possibili diverse analisi spaziali e relazionali utili per studiare questo tipo di fenomeni.

Abstract
The possibilities offered by the software *open source* permit to manage quickly and intuitively georefereble information. In this contribution they are been applied to geophysical data useful for next geodynamic studies, showing how these packets are now ready for to be used for example to simplify the study of geophysical phenomena organizing and structuring several kind of data. In fact from data georefered in format text, every information are been visualized like objects in the map, also permitting to know all theirs attributes, geographic and descriptive, so discovering possible connection between the several territorial phenomena.

Introduzione

I dati utilizzati in questo contributo, di seguito illustrati più nel dettaglio, sono estratti da banche dati di libero accesso che contengono in formato testo varie informazioni tra cui la localizzazione e classificazione degli eventi sismici registrati e le localizzazioni dei margini delle placche individuati secondo le teorie di alcuni tra i più accreditati ricercatori. Tale implementazione in un database georiferito facilita lo studio della relazione che c'è tra la disposizione dei margini delle placche tettoniche, i loro attuali movimenti sia di rotazione che di traslazione, le maggiori formazioni montuose ed il verificarsi dei più forti terremoti sulla Terra.
Le placche sono frammenti del guscio esterno terrestre, detto litosfera, spesso circa 100 km. Esse si muovono l'una rispetto all'altra a velocità di qualche cm l'anno e per tettonica delle placche s'intende appunto il movimento relativo e le deformazioni che ne conseguono ai margini. Il moto di una placca su una sfera (la Terra) è rappresentabile come una rotazione attorno ad un asse passante

per il centro della sfera (teorema di Eulero). L'asse di rotazione interseca la superficie sferica in due punti detti poli di rotazione. Tra i due punti, il polo di rotazione principale è quello attorno al quale la placca ruota in senso antiorario.
Grazie all'implementazione di tali dati in un ambiente GIS è ovviamente possibile eseguire in maniera rapida ed intuitiva analisi che possono evidenziare relazioni logiche e spaziali tra alcune caratteristiche di eventi e movimenti propri della tettonica delle placche e delle deformazioni che ne conseguono ai margini delle placche stesse.

Fasi del lavoro

Il lavoro svolto può essere suddiviso in tre fasi principali:
1) Raccolta di tutti i dati geofisici da varie fonti e disposizione degli stessi dati sottoforma di tabelle per essere inseriti facilmente in *database* relazionali (sistemi di gestione, analisi e controllo dei dati spaziali utilizzati dai software GIS);
2) Ricerca delle giuste procedure ed applicazioni per rappresentare graficamente i dati in formato vettoriale introducendo opportune primitive geometriche come il punto, la linea e il poligono;
3) Visualizzazione di tutti i dati in un'unica mappa con possibilità di interrogarli e di accedere a tutte le relative informazioni.

Dati utilizzati e loro rappresentazione

I dati implementati possono essere suddivisi in tre gruppi principali:
1. Rappresentazione geografica delle placche litosferiche;
2. Velocità di singoli siti permanenti GPS nel sistema di riferimento ITRF2005;
3. Catalogo sismico globale dei forti terremoti.

Le placche litosferiche, le maggiori formazioni montuose ed i poli di rotazione relativi delle placche sono accessibili sul sito internet *http://peterbird.name/oldFTP/PB2002/* (Bird, 2003), raggruppati in quattro *file* formato testo:
1) *Boundaries*, che rappresenta tutti i tratti dei margini delle placche tettoniche definiti in differenti studi. Nel *file* viene anche data anche l'indicazione sul tipo di interazione esistente tra i margini di placca: se a separare i nomi di due placche che definiscono un margine c'è il simbolo " _" significa che non c'è subduzione, se c'è il segno " / " vuol dire che la placca di destra è in subduzione sotto quella di sinistra, mentre il simbolo " \ " indica l'opposta polarità di subduzione;
2) *Plates*, che definisce le coordinate dei margini di placca per ciascuna delle 52 placche identificate nel lavoro di Bird. Il *file* si presenta composto di 52 blocchi, ognuno dei quali rappresenta una singola placca e inizialmente identificato con un codice di due lettere; ad es. AF sta per placca Africana, NA per placca nord-americana e così via;
3) *Orogens*, che rappresenta le principali formazioni montuose a scala globale, cioè le zone in deformazione che sono disposte lungo i margini compressivi, laddove le placche si avvicinano. Il *file* contiene 13 blocchi, ognuno dei quali definisce un'orogene definito all'inizio dal nome per esteso della formazione montuosa e il riferimento bibliografico;
4) *Poles*, che contiene i poli di rotazione relativi delle placche tettoniche. Il *file* è composto da 52 righe ognuna corrispondente ad una placca. Su ogni riga viene riportato il codice di placca, il nome per esteso della placca, l'area della placca in steradianti (unità di misura dell'angolo solido), la latitudine e la longitudine del polo di rotazione relativa, la velocità di rotazione in gradi decimali per milione di anni e il riferimento bibliografico. Tutti i poli sono stimati ipotizzando ferma la placca Pacifica e tali che il verso di rotazione della placca è diretto in senso antiorario.

Le velocità GPS sono disponibili sul sito della NASA *http://sideshow.jpl.nasa.gov/mbh/series.htm* in un *file* formato testo che contiene l'elenco delle stazioni permanenti GPS: sulla prima riga il loro nome, la loro posizione in coordinate geografiche (latitudine e longitudine), la quota e gli errori del

loro posizionamento in millimetri; nella riga successiva sono indicate le componenti geografiche della velocità ed i relativi errori in millimetri all'anno. Le velocità delle stazioni permanenti GPS situate lontano dai margini in deformazione vengono ritenute rappresentative della cinematica della placca di appartenenza.
Per quanto riguarda la sismicità, tra i vari cataloghi esistenti è stato scelto il catalogo sismico del NEIC (*National Earthquake Information Center*) contenente tutti i terremoti del mondo registrati dal 1973 al 2007 con magnitudo maggiore o uguale a cinque. Per ogni terremoto viene definita la posizione in coordinate geografiche in gradi decimali (latitudine e longitudine), la profondità dell'evento in kilometri, il grado di magnitudo che varia tra cinque e nove, l'energia sviluppata in joule, l'anno, il mese, il giorno e l'ora di occorrenza del terremoto. E' noto che i terremoti si verificano nella quasi totalità dei casi in corrispondenza dei margini delle placche tettoniche a seguito dei movimenti di quest'ultime.
I dati, disponibili solo sottoforma di tabelle in formato testo, sono stai convertiti in file *.shp* utilizzando principalmente il software *Open source Quantum GIS* 9.1, solo alcune elaborazioni dei dati stessi, per comodità, sono state eseguite mediante routine, anch'esse *Open source,* sviluppate però nell'ambiente commerciale *Mapinfo*. Com'è noto la caratteristica più interessante dei pacchetti *Open source* è che è possibile anche modificare, integrare, aggiungere comandi, duplicare e ridistribuire il software perché il codice sorgente è lasciato alla disponibilità di tutti, soprattutto per eventuali sviluppatori. Grazie a questa caratteristica che permette la collaborazione (in genere libera e spontanea) tra più gruppi di ricerca, il prodotto finale raggiungere una complessità maggiore di quanto potrebbe ottenere un singolo gruppo di programmazione.
Come è stato spiegato precedentemente, i file *Boundaries*, *Plates* e *Orogens* che rappresentano rispettivamente i tratti dei margini delle placche tettoniche secondo vari studiosi, le 52 placche della Terra secondo Peter Bird (2003) e le maggiori formazioni montuose, si presentano sottoforma di una successione di punti di note coordinate geografiche. Rappresentare i margini, le placche e le formazioni montuose come punti non ha senso perché esse vanno invece viste come polilinee, e per quanto riguarda le ultime due (placche e formazioni montuose) vanno rappresentate come poligoni, ma questo sarà illustrato meglio più avanti. Quantum GIS non è attualmente in grado di costruire in maniera semplice delle polilinee a partire da una successione di punti, per questo è stata fatta una ricerca su *web* per trovare in rete un software che facesse questa operazione. Tra le varie soluzioni trovate quella che sembrava più di semplice ed immediata esecuzione è stata l'utilizzazione di una macro scritta per *Mapinfo Basic* (P. Zatelli, 2008) disponibile pubblicamente sotto licenza GNU. Utilizzando tale routine bisogna prestare particolare attenzione nella costruzione del file di *input* che deve essere un file di testo appositamente formattato, rispettando la sintassi prevista nell'esauriente file di istruzioni fornito dall'autore.
Una volta tracciate le polilinee, è stato necessario convertire le placche e le formazioni montuose da polilinee a poligoni questo è stato eseguito direttamente in Mapinfo selezionando l'oggetto e utilizzando il comando *"convert to regions"*.
Per quanto concerne gli altri dati a disposizione riguardanti i terremoti che si sono verificati dal 1973 al 2007 con magnitudo maggiore o uguale a cinque, i poli di rotazione relativi delle placche e le posizioni delle stazioni permanenti di geodesia spaziale, sono stati rappresentati utilizzando esclusivamente il software Quantum GIS. Infatti gli ultimi dati descritti devono essere visualizzati in mappa sottoforma di punti e Quantum GIS dispone di un comando semplice ed immediato, chiamato "Aggiungi Layer di Testo Delimitato", grazie al quale è stato possibile disegnare in mappa dei punti a partire da file di testo contenenti coppie di coordinate di latitudine e longitudine necessarie per inserire correttamente i punti nella mappa.
Il file contenente le posizioni delle stazioni permanenti di geodesia spaziale dà indicazione anche sulle loro velocità e quindi sugli spostamenti annuali delle placche tettoniche. Per disegnare in mappa i vettori di spostamento si è seguito lo stesso procedimento per disegnare le polilinee, polilinee che in questo caso sono delle rette che hanno il punto di origine dove è posizionata la

stazione ed il punto finale è stato calcolato considerando un fattore di scala pari a 0.3 per facilitare la visualizzazione. Tutti i *layer* vettoriali costruiti, anche quelli creati con Mapinfo, sono stati visualizzati nella mappa di Quantum GIS perché ha un'interfaccia molto chiara e di rapido acceso. Le rappresentazioni sono comprese tra -180° e +180° di longitudine e tra -90° e +90° di latitudine (fig.1 e fig.2), tale visione imponeva il taglio di alcune linee e poligoni in coincidenza con la longitudine centoottanta, compromettendo inoltre, tutta una serie di analisi topologiche quindi per avere una diversa visione dei dati rappresentati in mappa è stata creata una seconda rappresentazione che va da 0° a 360° di longitudine lasciando inalterato l'intervallo in latitudine (fig.3 e fig. 4).

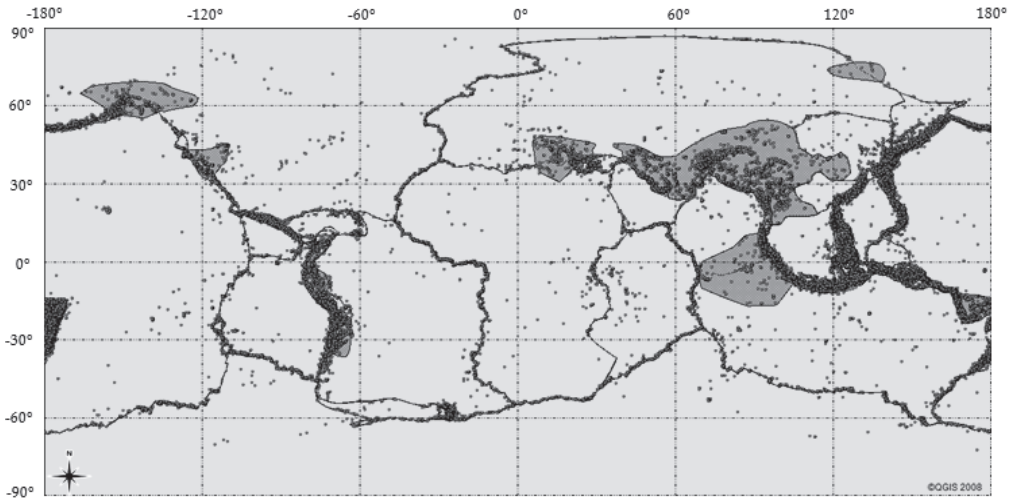


Figura 1 - Margini delle placche, formazioni montuose, zone sismiche (punti verdi)

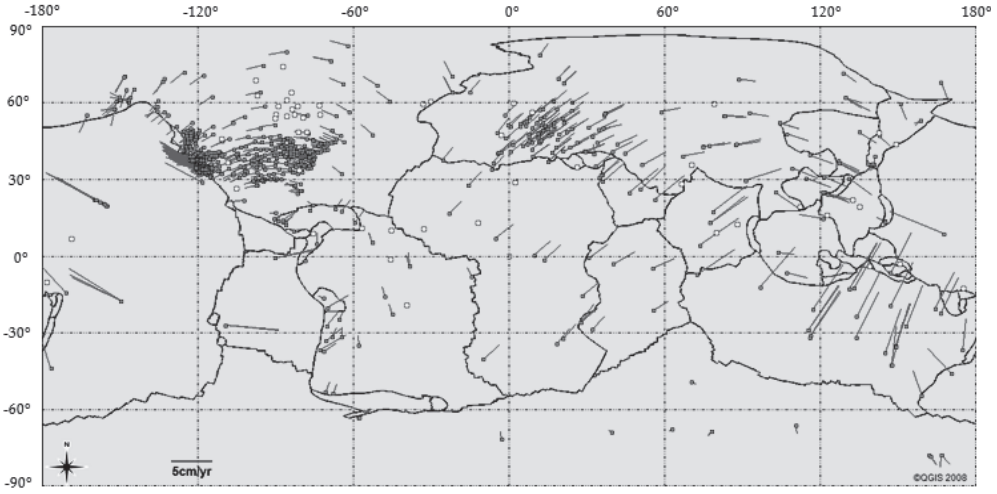


Figura 2 - Placche, poli di rotazione relativi, stazioni permanenti di geodesia spaziale e velocità

Inoltre per avere più chiarezza dal punto di vista sia grafico che del significato dei dati rappresentati, nelle figure che seguono è stata divisa la visualizzazione in due mappe. Nella prima si osservano i margini delle placche tettoniche, le formazioni montuose ed i punti in cui si sono verificati i terremoti. Nella seconda si visualizzano le placche, i loro poli di rotazione relativi, le stazioni permanenti di geodesia spaziale e le loro velocità; si dà quindi indicazione dei movimenti annuali delle placche.

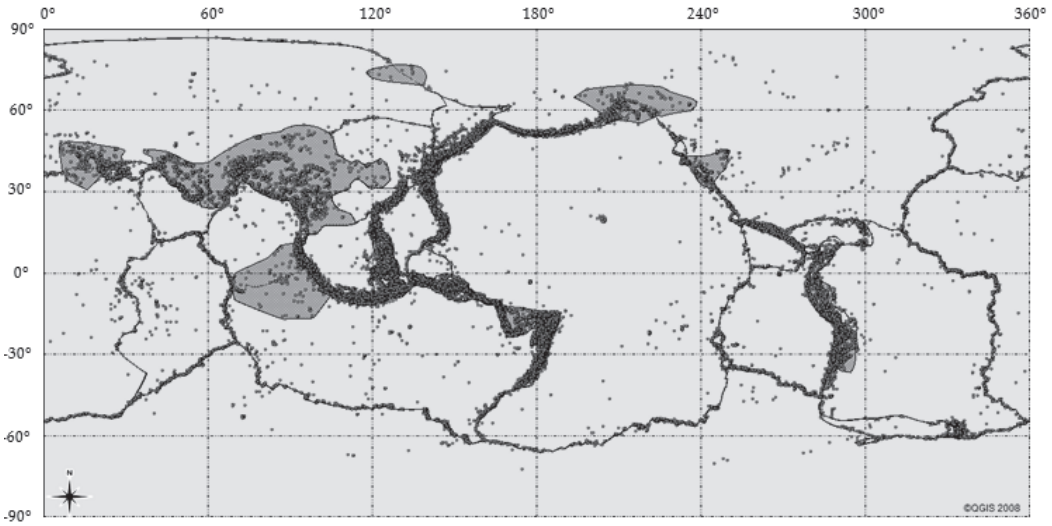


Figura 3 - Margini delle placche, formazioni montuose, zone sismiche (punti verdi)

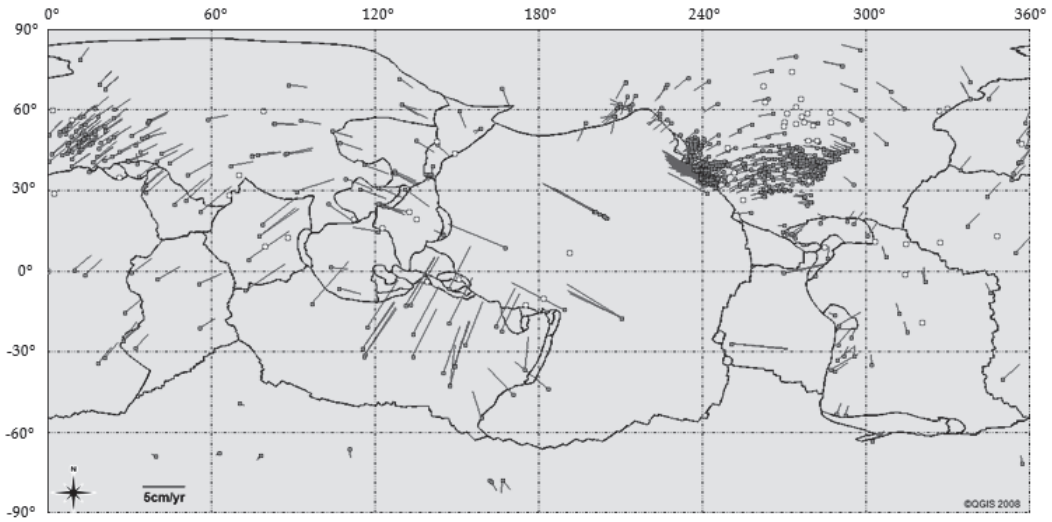


Figura 4 - Placche, poli di rotazione relativi, stazioni permanenti di geodesia spaziale e velocità

Ovviamente l'uso di tali dati georiferiti non si limita solo alla rappresentazione grafica ma in questo momento sono allo studio tutta una serie di analisi che sarà possibile eseguire con una semplice query SQL (*Structured Query Language*), che permetteranno di verificare le relazioni che ci sono tra eventi con simili caratteristiche e la loro localizzazione o geometria

Conclusioni e prospettive future

Dal presente lavoro si è potuto verificare che grazie agli ultimi sviluppi dei *software* GIS *open-source* e delle loro interfacce è ormai possibile studiare facilmente ed in modo molto dettagliato fenomeni spazialmente riferiti anche da utenti non esperti.

Infatti, avendo a disposizione dei dati spaziali, è stato possibile visualizzare graficamente alcuni fenomeni geofisici rappresentandoli in una mappa con determinate coordinate e con una scala, la banca dati così realizzata, diventa un potente e al tempo stesso semplice strumento per verificare relazioni e caratteristiche di venti simili anche molto distanti nel tempo e nello spazio.

L'aspetto particolarmente innovativo è aver verificato passo passo la possibilità di implementare in maniera semplice e gestibile da qualunque utente in ambiente *open source* dati georiferiti; in particolare il lavoro svolto ha mostrato che è possibile organizzare con questo tipo di software informazioni di tipo geofisico utili per studi geodinamici, ed in prospettiva possono essere implementate delle funzionalità all'interno dei pacchetti grazie anche al continuo aggiornamento e sviluppo del programma.

Possibili studi successivi al GIS realizzato possono riguardare, ad esempio, gli andamenti della dissipazione dell'energia sismica lungo i margini di placca, produrre una carta dei rilasci di energia sismica lungo gli stessi margini, oppure una carta che mostri le migrazioni degli epicentri dei terremoti e stimare i poli di rotazione relativi tra due placche qualsiasi.

Bibliografia

Bird P. (2003), *An updated digital model of plate boundaries*, Geochemistry Geophysics Geosystems, 4(3), 1027, doi:10.1029/2001GC000252

Boffi M. (2004), *Scienza dell'Informazione Geografica – introduzione ai GIS*, Zanichelli

Zatelli P. (2008), *Routine "Poly",* www.unitn.it

Siti web

http://peterbird.name/oldFTP/PB2002/

http://sideshow.jpl.nasa.gov/mbh/series.htm

http://tetide.geo.uniroma1.it/sciterra/sezioni/Doglioni.html

TECNICHE PER L'ESTRAZIONE DELLA LINEA DI COSTA DA IMMAGINI VHR: CONFRONTI E VERIFICHE

Valerio BAIOCCHI (*), Filippo DEL GUZZO (**), Donatella DOMINICI (**), Keti LELO (*), Angelica MICCOLI (**)

(*) Area Geodesia e Geomatica, DITS, "Sapienza" Università di Roma, Via Eudossiana, 18 00184 - Roma
tel +390644585068, fax+3906445855515, e-mail, valerio.baiocchi@uniroma1.it
(**) Università degli Studi di L'Aquila, Dipartimento di Architettura ed Urbanistica – 67040 Monteluco di Roio
tel +39 0862434118, e-mail: dominici@dau.ing.univaq.it

Riassunto
Il progetto illustrato in questo contributo è condotto dall'Università degli Studi di L'Aquila, Dipartimento di Architettura ed Urbanistica, e l'Università degli studi Sapienza di Roma, Dipartimento Idraulica Trasporti e Strade.
L'obiettivo primario è di implementare e confrontare metodologie di estrazione delle linee di costa da immagini satellitari ottici ad altissima risoluzione (VHR).
Un'immagine QuickBird multispettrale dell'area costiera della città di Pescara, risalente a Dicembre 2006, è stata utilizzata per estrarre 15 km circa di linea di costa in formato vettoriale utilizzando due differenti metodologie e software.
Il progetto, in corso dal 2007, ha già ottenuto dei risultati per quanto riguarda la rigorosa ortorettificazione dell'immagine satellitare e l'implementazione di algoritmi per l'estrazione della linea di costa utilizzando approcci *object-oriented* messi a punto con il software Definiens Professional. Alcuni di questi sono stati oggetto di precedenti comunicazioni ASITA. Attualmente, gli sforzi si sono concentrati nell'utilizzo dei più "classici" approcci *pixel based*, con lo scopo di valutare dal punto di vista dell'accuratezza, e a livello di costi-benefici, il metodo migliore per l'estrazione semi automatica delle linee di costa.

Abstract
The project illustrated in this paper is conducted by the Università degli Studi di L'Aquila, Dipartimento di Architettura ed Urbanistica, and the Università degli studi La Sapienza, Dipartimento Idraulica Trasporti e Strade.
The primary objective of this project is to implement and compare methodologies for extracting coastal lines from VHR optical satellite images.
A Multispectral QuickBird image of December 2006 of the city of Pescara is used to generate a vectorial coastal line of 15 km using two different methodologies and software.
The project has already reached an advanced phase of development. Previously, the satellite image was orthorectified using GCP-s, and algorithms were implemented for the extraction of the coastal line using an object oriented methodology based on the software Definiens Professional. Some of the preliminary results were published in previous workshops. Actually the focus is given to pixel based methodologies in order to establish the best practice for an accurate and coast-effective workflow for coastline delineation.

Introduzione
L'immagine multispettrale QuickBird dell'area costiera della città di Pescara, risalente a Dicembre 2006, è stata sottoposta inizialmente elaborazioni basate sull'approccio object-oriented per l'estrazione della linea di costa. Questo metodo di classificazione, implementato nel software

Definiens Professional 5.0, rappresenta una evoluzione concettuale rispetto al classico approccio *pixel based.* Si tratta infatti di un metodo che prevede la preventiva suddivisione dell'immagine in gruppi di pixel con caratteristiche spettrali e di forma omogenee, attraverso una procedura nominata segmentazione. La corretta scelta dei parametri di segmentazione, strettamente legata all'obiettivo dello studio, ha portato soddisfacenti risultati della classificazione. Con tale tecnica si sono ottenuti risultati molto incoraggianti soprattutto dal punto di vista dello studio dell'andamento della linea della costa basato su monitoraggi periodici (Baiocchi *et* al, 2007).
L'obiettivo nella fase attuale del progetto è stato quello di valutare se le tecniche classiche basate sull'approccio per pixel implementate nel software ENVI**,** restituiscono risultati congruenti a quelli ottenuti con le più moderne tecniche object-oriented implementate nel software Definiens Professional 5.0. In ambedue i casi il prodotto finale riguarda l'estrazione di una linea di costa in formato vettoriale. La sovrapposizione tra gli elaborati ottenuti con le diverse tecniche consente di verificare differenze e scostamenti.
Lo scopo finale è quello di definire una metodologia funzionale standardizzata, efficiente in termini di tempi e costi, che possa essere utilizzata in periodi successivi per produrre linee di costa in formato vettoriale. Trattandosi di una fase ancora sperimentale volta all'ottimizzazione del lavoro di estrazione della linea di costa per quanto riguarda la metodologia e l'utilizzo del software, non sono state prese in considerazione le problematiche dovute all'effetto di marea, che saranno implementate quando definizioni univoche saranno stabilite, apportando le necessarie correzioni.

Metodologia
I metodi di estrazione della linea di costa adottati comprendono ambedue le seguenti fasi:

1. Inizializzazione: la definizione dei criteri da utilizzare la distinzione terra-mare;
2. Localizzazione: la definizione dei parametri che definiscono la distinzione terra-mare;
3. Individuazione della linea di costa: i parametri di input sono definiti sulla base delle precedenti fasi di localizzazione.
4. Estrazione della linea di costa: in questa fase viene effettuata la definitiva selezione e pulizia dell' oggetto "linea di costa" e i risultati sono esportati in formato vettoriale.

Per quanto riguarda i dettagli tecnici delle procedure di ortorettificazione delle immagini e di estrazione della linea di costa attraverso l'approccio object-oriented, rimandiamo ai contributi già pubblicati in precedenti interventi ASITA (Baiocchi *et* al, 2006, Baiocchi *et* al, 2007). Per completezza di esposizione riassumiamo comunque alcuni aspetti salienti.
Per l'ortorettificazione dell'immagine Quickbird standard (risoluzione di 0.61 m pancromatico e 2.44 multispettrale) è stato utilizzato un modello fotogrammetrico rigoroso (modello di Toutin sviluppato all'interno di PCI). L'accuratezza ottenuta di 3-4 metri è giudicata compatibile con il fenomeno in studio a causa della variabilità per case naturali ed antropiche.
La procedura di estrazione ha invece fatto leva in primis sulla definizione dei parametri ottimali di segmentazione. Per l'area in studio sono state verificati differenti livelli di segmentazione per valutare la soluzione più adatta. La zona di transizione mare/terra è caratterizzata da oggetti paralleli di forma allungata. In base a ripetuti tentativi si è osservato che un valore di 30 per lo *scale parameter* è appropriato utilizzando l'area di passaggio terra/mare come *acid test*. Una volta che i parametri di segmentazione sono stati definiti, evitando sopra o sotto segmentazioni, la procedura di estrazione della linea di costa è stata verificata attraverso due approcci differenti: individuazione della linea di passaggio terra/mare attraverso una classificazione multirisoluzione delle immagini preventivamente segmentate; selezione diretta degli oggetti ottenuti applicando dei criteri descrittivi di forma. Il primo è stato ritenuto il più idoneo. Benchè la linea di costa sia l'unica *feature* di interesse, una classificazione *supervised* è stata effettuata sull'intera immagine, dopo un'attenta selezione dei *training sets* e la determinazione di opportune caratteristiche spaziali degli oggetti. Un algoritmo *Nearest neighbour* standard da come risultato le seguenti classi: acqua limpida, acqua torbida, linea di costa, sabbia, zona edificata, suolo spoglio (Cfr. Fig.1). Una campagna di controllo a terra non è stata

eseguita ma il confronto con l'immagine Quickbird mostra un soddisfacente accordo per quello che riguarda la linea di costa.



Figura 1- Parte dell'area di studio dopo la classificazione multirisoluzione. La parte centrale è occupata dal porto di Pescara. La striscia rossa rappresenta la battigia (sabbia bagnata)

La linea di costa è stata estratta unendo gli oggetti classificati come battigia e creando una polilinea mediante le funzioni di scheletrizzazione (la funzione di scheletrizzazione implementata all'interno di Definiens si basa sulla triangolazione di Delaunay dei poligoni) (Cfr. Fig.2).



Figura 2 – Estrazione della liena di costa con l'approccio object-oriented

Per quanto riguarda l'accuratezza, nonostante la rigorosa ortorettificazione delle immagini Quickbird, valutata come inferiore a 4 metri, rimane sempre l'ambiguità nell'esatta posizione della linea di costa. L'ora di osservazione, in funzione dell'effetto di marea, costituisce per esempio, una delle cause di

indeterminazione sull'individuazione della linea di costa. Nel nostro caso, l'intera fascia di battigia, che nell'area di studio con costa sabbiosa oscilla tra 8 e 17 metri, è stata assunta come area "sensibile" all'interno della quale è stata tracciata la linea di costa mediante la triangolazione di Delaunay.

L'approccio per pixel è stato invece basato sull'utilizzo dell' Indice di vegetazione normalizzato (NDVI) in ambiente ENVI.
Gli indici di vegetazione VI (*vegetation indexes*) costituiscono un caso specifico di algebra di bande e vengono usati per estrarre informazioni quali caratteristiche di produttività, biomassa, identificazione della copertura vegetale e stato di salute. Vegetazione rigogliosa riflette fortemente nell'infrarosso vicino (~0.8 −1μm) il 40-50% dell'energia incidente ed assorbe circa l'80-90% nella regione del rosso visibile (~0.6-0.7μm).
Tra gli indici di vegetazione disponibili si è scelto di utilizzare quello normalizzato o **NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).** Questo indice viene preferito a quello definito dal semplice rapporto tra le bande NIR ed R poiché non risulta affetto dai valori assoluti dei pixel nell'infrarosso vicino e nel rosso in quanto calcola la differenza normalizzata tra i valori di BV della banda dell'infrarosso vicino (*NIR*, regione di forte assorbimento della clorofilla) e quelli della banda del rosso (*R* , regione di forte riflettanza dello strato vegatativo).

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$$

Inoltre la presenza della somma e della differenza rende l'NDVI utile per tutti quegli studi che riguardano i cambiamenti temporali che si sono verificati nella vegetazione di una zona.
In linea teorica, l'NDVI può assumere valori compresi tra -1 e 1. In pratica l'intervallo si colloca tra +0.7 che evidenzia vegetazione molto densa e latifoglie e -0.4 che invece caratterizza soprattutto i corpi d'acqua. Valori compresi tra 0.3 e 0.4 sono tipici delle formazioni prative, mentre i suoli nudi assumono valori prossimi a 0. I rimboschimenti ad aghifoglie assumono valori pari a circa 0.5. Solo vegetazioni molto dense arrivano a 0.8. E' quindi anche un indice di biomassa vegetale. Rende possibile l'identificazione di strutture sepolte che favoriscono o inibiscono lo sviluppo delle piante. Lungo antichi solchi, dove l'acqua ristagna nel suolo, l'erba sarà più folta, mentre meno sviluppata sarà se le sue radici incontrano dei muri o dei pavimenti.

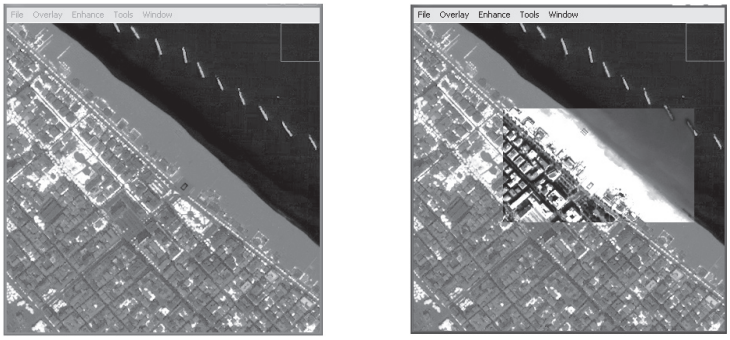


Figura 3 - Nell'immagine di sinistra è riportata la mappa dell'indice di vegetazione normalizzato NDVI, mentre l'immagine di destra mostra l'applicazione dell'opzione Dynamic Overlays tra l'immagine RGB e quella con l'NDVI

L'indice di vegetazione normalizzato è stato applicato all'immagine QuickBird a disposizione ottenendo una nuova immagine dove i valori di ciascun pixel risultano compresi nell'intervallo (–1; 1) così come ricordato in precedenza. Il per la definizione della probabile linea di costa è necessario che siano evidenziate in modo automatico tutte le zone dove è presente acqua: in questo caso dovrà essere tracciata una linea che identifica la separazione tra la sabbia della spiaggia ed il mare.

Per poter evidenziare meglio la collocazione della presunta linea di costa e per il suo tracciamento, si è utilizzato lo strumento Contour Lines che consente la generazione di linee di contorno dell'immagine visualizzata stabilendo a priori gli intervalli dei valori dei pixel per il tracciamento delle suddette linee. In particolare è stato indicato il solo intervallo (-0,38; -0.4) in modo da ottenere linee che evidenziassero principalmente i corpi d'acqua. Le features ottenute sono state esportate nel formato shape file in modo da procedere all'eliminazione di tutte quelle linee che non risultano utili al presente lavoro. Con questo comando è inoltre possibile sovrapporre le linee di contorno di un'immagine su differenti immagini. Di seguito è riportata l'immagine caricata in veri colori (RGB) su cui sono riportate le linee di contorno dell'immagine NDVI ed è così possibile notare sull'immagine originale l'andamento dell'indice di vegetazione.

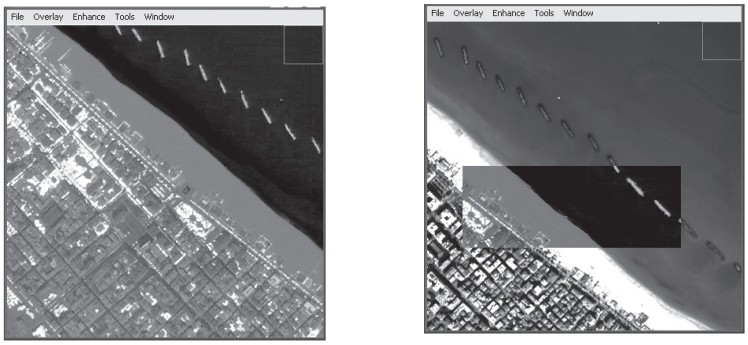


Figura 4 - L'immagine di sinistra mostra la mappa dell'NDVI su cui si è utilizzato il comando Contour Lines, mentre a destra è riportata l'immagine RGB a cui si è sovrapposta la precedente immagine

Conclusioni

Il confronto tra le metodologie sopra esposte è scaturito dalla necessità di valutare i risultati dell'impiego di tecniche classiche, oramai consolidate da tempo, e implementate in quasi tutti i software di RS commerciali, rispetto ai risultati ottenuti attraverso l'utilizzo di un prodotto "di nicchia" quale il software Definiens Professional.

L'approccio *object oriented* ha dimostrato ottimi risultati nella messa a punto di una metodologia che garantisce la rapida e facile individuazione delle linee di costa in zone caratterizzate da coste basse e sabbiose.

I risultati ottenuti attraverso l'utilizzo dell'indice NDVI hanno dimostrato che è possibile ottenere punti d'arrivo abbastanza simili utilizzando applicativi diversi, nonostante la necessità di indagare ulteriormente sui parametri ottimali da applicare, soprattutto in fase di estrazione. Si tratta comunque di un risultato positivo dato che, come è noto, il mercato offre numerosi pacchetti software, ma le scelte dei tecnici sono fortemente condizionate dalle funzionalità e costi degli stessi.

Dal confronto dei risultati conseguiti con i due diversi approcci, si può notare che le linee di costa ottenute presentano una sovrapponibilità all'interno del range definito dalle dimensioni della battigia (Cfr. Fig 5).

Come già accennato, i risultati ottenuti non possono essere correttamente stimati in quanto le correzioni dovute all'effetto di marea non sono a tutt'ora disponibili; dati ancillari climatologici e batimetrici sono quindi necessari per sviluppare il modello in maniera più accurata. Comunque l'obiettivo di mappare zone costiere con le immagini ad alta risoluzione può essere efficientemente implementato in termini produttivi.

L'utilizzo di tecniche implementate nei software più diffusi con costi di gestione più bassi puo' risultare particolarmente vantaggioso per le pubbliche amministrazioni.

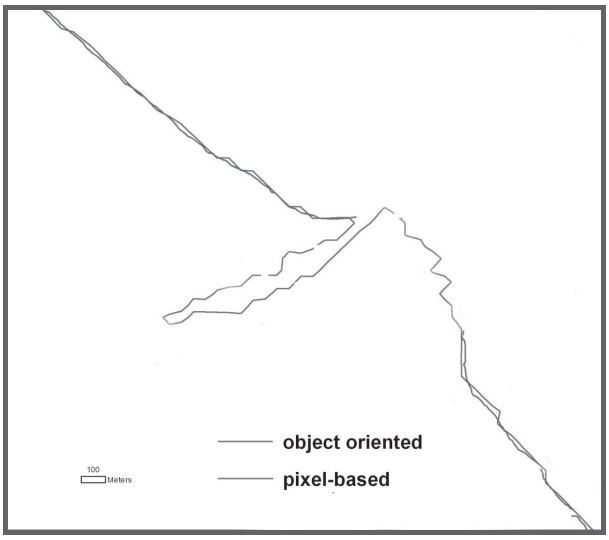


Figura 5 - Confronto tre le linee di costa estratte con le tecniche implementate in ENVI e quelle implementate in Definiens Professional

Bibliografia

Baatz, M. and A., Schäpe 2000 . Multiresolution segmentation: An optimization approach for high quality multi-scale image segmentation, Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII (J. Strobl and T. Blaschke, editors), Wichmann, Heidelberg: pp. 12–23.

Baiocchi V., Crespi M., De Vendictis L., Giannone F., 2004. *A new rigorous model for the orthorectification of synchronous and asynchronous high resolution imagery.* Proc. of the 24th EARSeL Symposium, Dubrovnik (Croatia): pp. 461-468

Breiman, L., J.H. Friedman, R.A. Olshen, and C.J. Stone, 1984. *Classification and Regression Trees*, Chapman & Hall, CRC Press, New York.

Bezdek, J. and Pal, S. 1992 . *Fuzzy Models for Pattern Recognition, Methods that Search for Structures in Data*. IEEE Press, New York.

Carleer; Debeir O.; Wolff E. 2004. Comparison of very high spatial resolution satellite image segmentations, Proceedings of SPIE Image and Signal Processing for Remote Sensing IX, Vol. 5238, ed. Lorenzo Buzzone: pp. 532-542.

Chubey, M.S.; Franklin, S.E.; Wulder, M.A. O Object-based Analysis of Ikonos-2 Imagery for Extraction of Forest Inventory Parameters.

Crespi M., Baiocchi V., De Vendictis L., Lorenzon F., Mezzapesa M. & Tius E., 2003. *A new method to orthorectify EROS A1 imagery*. Proc. of 2003 Tyrrhenian International Workshop on Remote Sensing: pp. 566-575

Curlander, J. and Kober, W. 1992. Rule based system for thematic classification in SAR imagery. Proc. IGARSS. *IEEE Press*, New York: pp. 854– 856.

Definiens Imaging, 2004, eCognition Professional user guide 4.0, (URL: http://www.definiens-imaging.com/), Definiens Imaging, München.

Toutin T., 2004. Review article: Geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and methods. *International Journal of Remote Sensing*, 25: pp. 1893-1924.

RAFFINAMENTO DELLA STIMA DEL GEOIDE SU ALCUNE AREE DELLA REGIONE ABRUZZO

Valerio BAIOCCHI (*), Filippo DEL GUZZO (**), Grazia PIETRANTONIO (***)

(*) "Sapienza" Università di Roma, Area di Geodesia e Geomatica, DITS, 00184 Roma, via Eudossiana 18
tel. +390644585068, fax +390644585515, valerio.baiocchi@uniroma1.it
(**) Università degli Studi di L'Aquila, Dipartimento di Architettura ed Urbanistica – 67040 Monteluco di Roio
tel +39 0862434118, email: delguzzo@dau.ing.univaq.it
(***) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, sezione CNT, 00143 Roma, via di Vigna Murata 605
tel. +390651860660, fax +39065041303, pietrantonio@ingv.it

Riassunto
In precedenti comunicazioni era stato esposto come la calibrazione di modelli di geoide può significativamente migliorare le stime delle correzioni delle quote. Dei tre modelli disponibili in Italia (Italgeo95, Italgeo99, Italgeo 05) da primi studi sembrava di poter affermare che il modello che ha maggiori benefici dalla calibrazione sia l'Italgeo 95 portando i risultati da esso estrapolati molto vicini alle caratteristiche degli altri due disponibili solo a pagamento. Le prime sperimentazioni furono eseguite nella zona dei Colli Albani, area vulcanica sotto costante monitoraggio da parte dell'istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. Per questa ragione, poiché l'attività dell'area potrebbe rendere meno accurata la determinazione dell'ondulazione, si è deciso di testare i risultati di prove analoghe su altre aree ove fossero disponibili adeguati dati altimetrici, quali quelli realizzati dalla Regione Abruzzo e liberamente disponibili. Scopo della presente comunicazione è approfondire l'indagine con ulteriori confronti su un numero di misure decisamente superiore e valutare se anche i modelli Italgeo99 ed Italgeo05 possano incrementare la loro precisione ed accuratezza mediante il procedimento di calibrazione, possibilità non investigata in precedenti contributi.

Abstract
In precedents communications we demonstrated that calibration of geoid models can improve the estimation of height corrections. Of the three available models in Italy (Italgeo95, Italgeo99, Italgeo 05) from first studies it seemed that the model that has greater benefits from the calibration is the Italgeo 95 bringing its results very near to the characteristics of the others two only commercially available. The first experimentations were performed in the zone of the Colli Albani, volcanic area under constant monitoring from the National institute of Geophysics and Volcanology (INGV). For this reason, since the activity of the area could make the determination of the undulation less accurate, we decided to repeat analogous tests on other areas they were available suitable altimetric data, as those realized by the Region Abruzzo and freely available. Purpose of the present communication is to deepen the investigation with further comparisons on a number of measures superior and to appraise if also the models Italgeo99 and Italgeo05 can increase their precision and accuracy through the procedure of calibration, possibility not investigated in precedents contributions.

Introduzione

La possibilità di trovare modelli che approssimino al meglio l'andamento del geoide è divenuta negli ultimi anni una questione di particolare interesse per la sempre maggiore diffusione delle tecniche di misura GPS. Queste ultime infatti restituiscono quote ellissoidiche dei punti misurati, che per molte applicazioni devono essere convertite in quote ortometriche. Sono disponibili diversi modelli di geoide a livello nazionale, i quali, però, non sempre localmente portano ad accurate stime di quote ortometriche.

I modelli utilizzati per stimare l'andamento dell'ondulazione del Geoide possono presentare scostamenti sistematici dovuti principalmente alla diversa materializzazione dei datum altimetrici. Per tale motivo i modelli generalmente possono presentare un andamento molto simile tra loro ma possono localmente presentare degli scostamenti sistematici, anche di parecchi centimetri (vedi Fig.1). Tale scostamento sistematico può essere ridotto conoscendo con grande precisione l'ondulazione del Geoide di alcuni punti nella zona di studio, il Geoide può infatti essere "adattato" localmente rispetto a questi punti, in questo caso si parla di calibrazione del geoide.

All'interno del software Geotrasformer è stata implementata una routine scientifica che permette di calibrare i modelli di geoide più diffusi in Italia: Italgeo95, Italgeo99, Italgeo05. Avendo a disposizione, per alcune zone della regione Abruzzo, i dati di tutti e tre i modelli ed una serie di linee di livellazione rilevate dalla stessa amministrazione regionale e battute anche con ricevitori GPS geodetici si è deciso di valutare quali miglioramenti si ottengono calibranto i tre modelli rispetto ad i punti misurati.

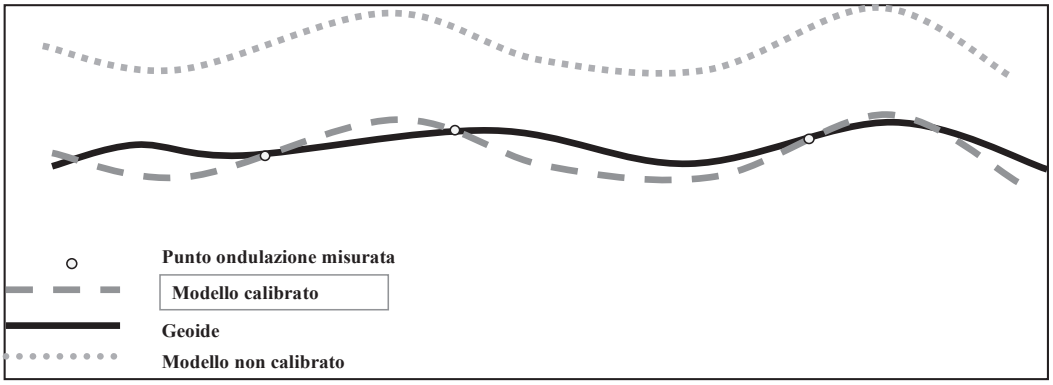


Fig.1- Calibrazione dei modelli di geoide

Tali punti ad ondulazione nota sono quindi stati utilizzati per verificare quali miglioramenti si possono ottenere applicando l'algoritmo di calibrazione che stima una traslazione verticale e due rotazioni su assi ortogonali alla verticale ed ortogonali tra loro. Questo definisce un importante parametro della calibrazione; affinché avvenga correttamente è necessario avere a disposizione almeno tre punti di coordinate note. È ovvio che i punti forniti al software come input di calibrazione devono essere stati misurati con elevata precisione, infatti immettendo un solo punto con coordinate ellissoidiche errate è molto probabile che il software "appoggi" il geoide su di esso calcolando quote affette da errori grossolani, a causa delle rotazioni; ovviamente tali stime portano a valori molto diversi da quelli reali man mano che ci si allontana dai punti misurati.

La rete della Regione Abruzzo

La rete è costituita da 5407 punti planoaltimetrici di elevata precisione, fotoidentificabili o resi fotoidentificabili, con densità pari a uno ogni 100 ha nelle zone urbanizzate e ad esse limitrofe mai inferiore a 1 punto ogni 1000 ettari nelle restanti zone, sono stati posizionati in particolare lungo le

aste fluviali, stazionabili anche con strumentazione topografica tradizionale, ben accessibili e di sicuro mantenimento e reperibilità, garantendo per ogni punto la possibilità di orientarsi su vertici della rete stessa, eventualmente appositamente determinati.
I criteri che hanno portato alla configurazione geometrica della rete sono quelli dettati dal documento "Gruppo di lavoro reti plano-altimetriche: Specifiche tecniche per il raffittimento della rete fondamentale IGM95".
La precisione intrinseca della rete è fissata in ± 5 cm nelle tre coordinate (valore medio dei semiassi degli ellissoidi di errore delle coordinate geografiche con probabilità del 95%).
In ogni caso è stata posta particolare attenzione nel far coincidere, quando possibile, i punti di nuova istituzione con vertici della rete catastale (ovvero vertici della nuova maglia primaria GPS).
Tutti i vertici IGM95 ricadenti nella Regione Abruzzo sono stati inseriti nella rete, nello specifico sono stai utilizzati i vertici IGM95 della serie 700, situati lungo le linee di livellazione di alta precisione dell'IGM. In totale, i vertici per i quali si dispone della quota ortometrica di precisione sono in numero di 49, ed esattamente 14 vertici di nuova istituzione collegati con livellazione dal mezzo a capisaldi di livellazione IGM e 35 vertici trigonometrici IGM95 della serie 700, collegati anch'essi con livellazione dal mezzo a capisaldi di livellazione IGM.
Ai fini dell'inquadramento della rete, sono stati utilizzati 58 vertici trigonometrici della rete fondamentale IGM95. Dei 58 vertici, 35 risultano della serie 700, 2 della serie 800, 21 della serie 900. Tali vertici sono stati tutti ricogniti e ritenuti idonei ai fini del loro utilizzo per l'inquadramento della rete. I vertici di nuova istituzione sono stati posizionati con una densità tale che la distanza media tra le basi sia di 7 km e che la distanza massima tra di esse non sia mai superiore a 9 km. La rete è costituita da poligoni connessi aventi ciascuno un massimo di 6 lati, con un perimetro massimo di 50 km; laddove è stato possibile si è inserito all'interno delle maglie esagonali che presentavano una superficie elevata un ulteriore vertice di raffittimento. Su ogni vertice IGM95 convergono un numero minimo di 3 basi indipendenti. Per ciò che concerne l'inquadramento altimetrico della rete, si è operato nel rispetto del documento "Gruppo di lavoro reti plano-altimetriche: Specifiche tecniche per il raffittimento della rete fondamentale IGM95".

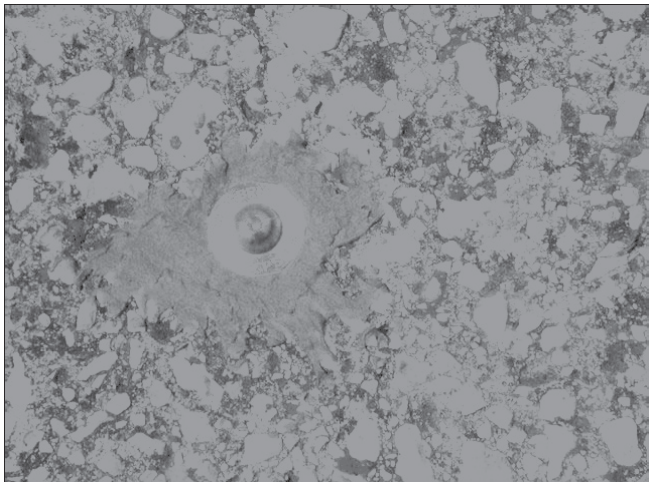


Fig.2- Esempio di materializzazione dei punti

Nelle zone adiacenti alle linee di livellazione di alta precisione dell'IGM, nel posizionamento dei vertici di nuova istituzione si è avuto cura, ove possibile, di posizionarli nelle immediate vicinanze

dei capisaldi delle linee di livellazione, per tali vertici si è proceduto ad un rilevo altimetrico di precisione, effettuato tramite livellazione geometrica dal mezzo che si apre e chiude sul medesimo caposaldo.
Il rilievo della rete è avvenuto in due fase distinte contestuali alla restituzione dei due lotto della nuova carta tecnica regionale CTRN 1:5000 tra il 2001 ed il 2005. I punti sono stati materializzati con opportuni centrini in acciaio inox e sono state redatte le rispettive schede monografiche dove si sono riportate le doppie coordinate e delle informazioni aggiuntive sulla localizzazione del centrino (Fig. 2-3).
Tutti i dati sono stati inseriti all'interno di un database e resi disponibili gratuitamente dal portale web dell' "Ufficio Sistema Informativo Geografico" della Regione Abruzzo agli utenti previa registrazione. Una volta ottenuta l'abilitazione all'accesso si ha la possibilità di consultare le schede monografiche ricercandole per identificativo del centrino, per comune e tramite il mapserver opportunamente configurato e procedere al salvataggio della scheda stessa in formato elettronico .

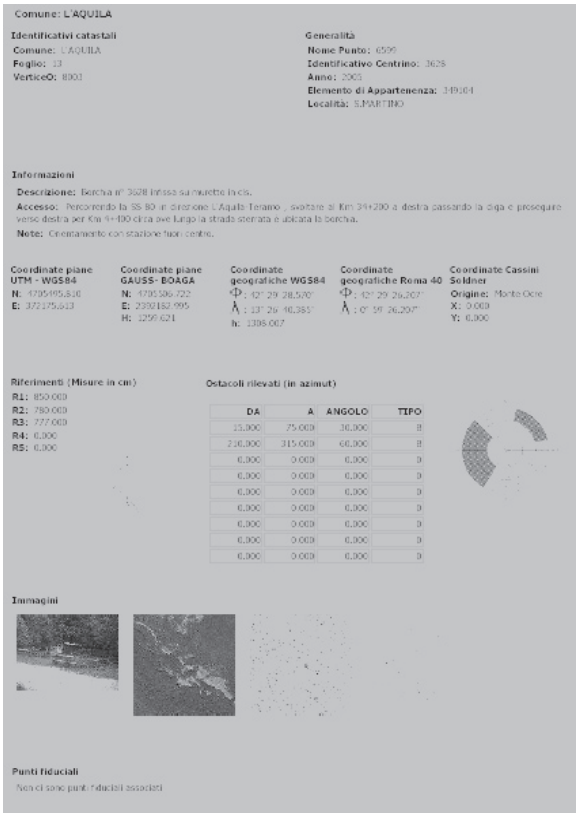


Fig. 3- Esempio di monografia disponibile su web

Sperimentazione
Come anticipato nell'introduzione, la presente sperimentazione vuole approfondire alcuni aspetti tra cui l'effetto dell'utilizzazione di un cospicuo numero di punti per la calibrazione. L'elevato numero di punti permetterebbe di indagare l'andamento del geoide e migliorarne la stima praticamente su tutto il territorio regionale (Fig. 4). In questa prima sperimentazione, alla quale faranno seguito ulteriori approfondimenti, si è deciso di incentrare l'indagine nella zona coperta dalle griglie IGM

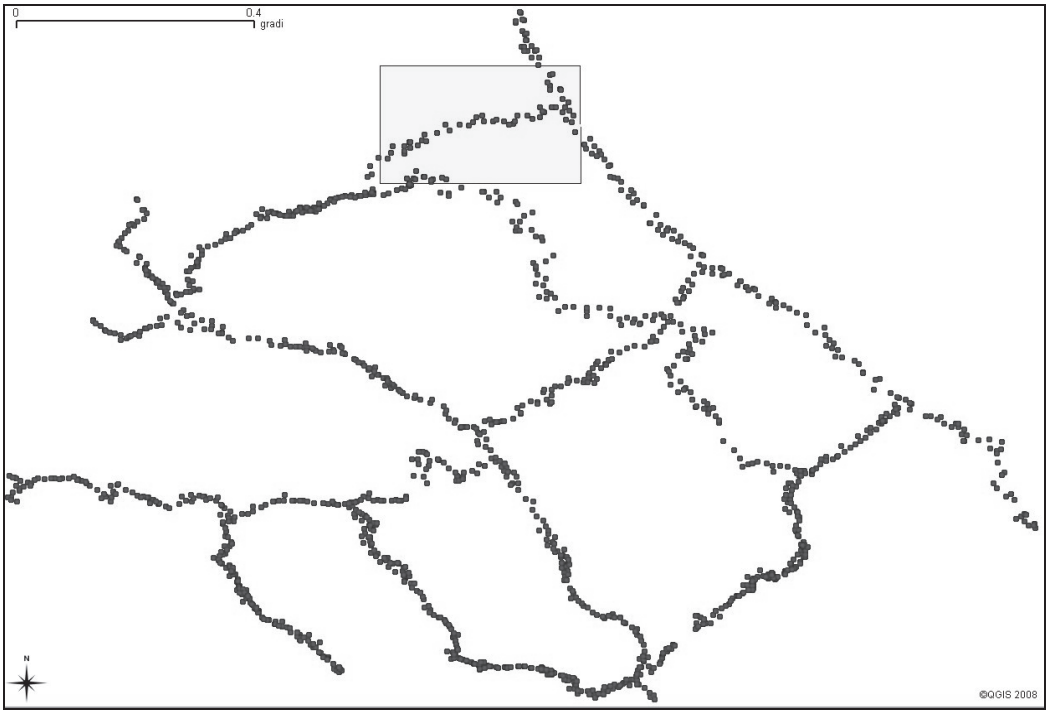


Fig. 4 – distribuzione della rete sull'intera regione con evidenziata la zona d'indagine.



Fig. 5- Estensione dell'area indagata (da Google Earth)

"339" corrispondenti all'estensione del "foglio" della Carta d'Italia a scala 1:50.000 denominato "Teramo" (Fig. 5).
L'area in questione ha morfologia variabile, partendo dalla zona costiera fino ad arrivare nelle zone più interne con quote massime dei punti fino a 500 metri di quota ortometrica. Tra i punti disponibili della rete ne sono quindi stati selezionati 115 ricadenti nell'estensione della griglia (42.50000°N,13.57733°E; 42.53333°N, 13.59999°E – latitudine e longitudine espresse in WGS84) mediante un apposita funzione presente in Geotrasformer. Si è deciso di suddividere i punti così ottenuti in due ulteriori sottogruppi di uguale consistenza numerica, in maniera casuale in modo che ognuno dei due sottogruppi fosse uniformemente distribuito sul territorio in studio. I punti appartenenti al primo gruppo sono quindi stati utilizzati quale riferimento per calibrare il modello, i punti rimanenti sono stati utilizzati per studiare l'eventuale miglioramento nella stima dell'ondulazione del geoide ottenuto utilizzando i punti del primo gruppo. E' infatti evidente che, se per stimare l'accuratezza della stima del geoide si fossero utilizzati punti già utilizzati per la calibrazione del modello stesso, si sarebbe corso il rischio di sovrastimare l'accuratezza stessa in quanto i punti usati come riferimento sono sicuramente quelli che mostrano migliore accordo con il modello stesso perché è rispetto ad essi che il modello è stato calibrato, tali risultati non darebbero però indicazione sull' accuratezza ottenibile allontanandosi dai punti di calibrazione stessi. I risultati ottenuti sono ovviamente anche stati confrontati con i risultati ottenuti sui medesimi punti utilizzando i modelli non calibrati ciò per verificare la significatività dei miglioramenti ottenibili e quindi la sua opportunità a seconda dei modelli utilizzati. (Tab.6)

Scostamenti rispetto ad ondulazioni misurate in metri	Italgeo 95 originale	Italgeo 99 originale	Italgeo 05 originale	Italgeo 95 calibrato	Italgeo 99 calibrato	Italgeo 05 calibrato
Media	0.608	0.055604	-0.01289	0.003094	-0.06626	0.002226
Dev. St.	0.042827	0.027993	0.008366	0.01055	0.030984	0.007008
Mediana	0.608	0.055604	-0.01289	0.003094	-0.06626	0.002
Max	0.665	0.103	0.008366	0.022	0.030984	0.018
Min	0.042827	0.005	-0.035	-0.019	-0.111	-0.01

Tabella 6- Scostamenti delle ondulazioni misurate rispetto ai vari modelli.

Conclusioni e sviluppi
I risultati di questa prima sperimentazione mostrano che, nell'area in studio, il modello Italgeo 95 dopo la calibrazione migliora in maniera significativa l'accuratezza della stima delle ondulazioni, con la rimozione di un sistematismo di circa 60 cm. (si vedano i valori della media), portando i relativi risultati più vicini a quelli di Italgeo05 che migliora anche se in maniera decisamente più contenuta. Il modello Italgeo99 è l'unico che dopo la calibrazione peggiora i suoi risultati e cmq non si avvicina alle accuratezze degli altri due modelli. Ulteriori indagini debbono essere svolte anche per appurare se si tratti di un'area "fortunata" in quanto anche i risultati rispetto ai modelli originali sembrano migliori di quanto previsto dalla letteratura. Il notevole accordo tra le misure ed i modelli potrebbe essere dovuto alla morfologia dell'area, infatti prime indagini su aree montuose nell'entroterra forniscono risultati molto meno accurati e saranno ulteriormente approfonditi.

Bibliografia
V. Baiocchi, P. Capaldo, M. Crespi, M. Mezzapesa, G. Pietrantonio(2007) , "*Calibrazione di alcuni modelli di geoide nell'area dei Colli Albani (Roma)*", Atti convegno ASITA 2007, Torino
Barzaghi, B. Betti, A. Borghi, V. Tornatore e G. Sona (2001): "*Ulteriori sviluppi nella stima del Quasi-Geoide Italiano e future Prospettive*" Atti XVIII Convegno nazionale GNGTS

IMPIEGO DI IMMAGINI SATELLITARI AD ALTA RISOLUZIONE QUALE SUPPORTO ALLA GESTIONE DEL TERRITORIO PER LA CITTÀ DI LUANDA (ANGOLA)

Valerio BAIOCCHI (*), Keti LELO (*), Joaquim José SUCURE (**)

(*) "Sapienza" Università di Roma, Area di Geodesia e Geomatica, DITS, 00184 Roma, via Eudossiana 18
tel. +390644585068, fax +390644585515, valerio.baiocchi@uniroma1.it
(**) Faculdade de Ciências, Universidade "Agostinho Neto", Avenida 4 de Fevereiro, CP 815, Luanda, Angola
tel. +2442336168, fax +2442336168, email: sucure@engineer.com

Riassunto
I ben noti eventi bellici che hanno interessato il territorio angolano, hanno causato, tra l'altro, sensibili migrazioni degli abitanti ed ingenti danni alle infrastrutture tra cui la rete trigonometrica nazionale. Per poter meglio monitorare le evoluzioni del territorio dovute a queste cause ma anche alla pressione conseguente alle attività estrattive attualmente in corso, è necessario studiare metodologie rapide ed efficiente per un aggiornamento o rifacimento delle basi cartografiche nazionali. In questo contributo si illustrano i risultati di prime sperimentazioni sulla città di Luanda.

Abstract
The well known war events that have interested the Angolan territory, have caused, besides, sensitive migrations of the inhabitants and huge damages to the infrastructures among which the national trigonometric net. To monitor the evolutions of the territory owed to these causes but also to the consequent pressure to the extractive activities currently in progress, it is necessary to study methodologies rapid and efficient for an updating or remaking of the national cartographic bases. In this contribution the results of first experimentations are illustrated on the city of Luanda.

Introduzione

Per attuare il suo sviluppo ed avviare pienamente la ricostruzione, l'Angola ha bisogno di basi cartografiche aggiornate che rispondano alle esigenze conoscitive sempre crescenti da parte degli organi tecnici e delle agenzia internazionali che dovranno studiare gli aspetti ingegneristici, geologici, sociali della ricostruzione stessa.
Requisito fondamentale per l'impianto di una nuova cartografia è la presenza di una rete geodetica sufficientemente densa ed estesa di appoggio, ma la rete è attualmente lacunosa ed insufficiente per questi scopi. Si rende quindi necessario provvedere al rilievo di una nuova rete, a partire dalle zone più urbanizzate e meno pericolose a quelle più remote ove la presenza di mine inesplose, residuati bellici e focolai di guerriglia sconsigliano l'immediato intervento. Visti i tempi necessariamente lunghi per il rifacimento totale della rete e conseguentemente dell'impianto della cartografia deve essere presa in considerazione come soluzione l'aggiornamento della cartografia esistente che, almeno in alcuni centri abitati, è di buon livello ed a grande scala. Tra le tecniche attualmente disponibili quella che offre maggiori prospettive, anche in considerazione dei problemi logistici ricordati, è l'utilizzazione di immagini satellitari ad alta risoluzione. Di seguito verranno esposte le fasi di una prima sperimentazione sulla capitale Luanda, il cui scopo è dimostrare la possibilità di creare in tempi rapidi una base cartografica aggiornata e metricamente corretta su questa verranno evidenziati alcuni esempi di applicazioni per lo studio dell'evoluzione delle aree urbanizzate e della linea di costa.

Dati utilizzati

Per studiare se l'uso di immagini tele rilevate ad alta risoluzione sia la metodologia più efficiente per aggiornare le cartografie esistenti, il governo Angolano ha deciso di acquisire alcune immagini IKONOS del tipo Carterra Geo in bundle, ovvero sia le immagini pancromatiche che le corrispondenti immagini multi spettrali. I Ground Control Point (GCP, ovvero punti di controllo a terra) ed i DEM necessari per orto rettificare l'immagine sono stati ottenuti da elementi cartografici in scala 1:2000, 1:25000 e 1:100000 realizzati negli anni ottanta e novanta dall'Istituto di Geodesia Angolano. Le immagini satellitari ad alta risoluzione, come già illustrato in precedenti comunicazioni (Baiocchi et al. 2004) debbono essere orto rettificate usando GCP rilevati con ricevitori GPS di classe geodetici o con strumenti in grado di fornire precisioni ed accuratezze comparabili. La difficoltà logistica di eseguire rilievi topografici accurati in queste zone e la disponibilità di carte a grande scala di buona qualità, ha spinto a verificare se usando GCP da cartografia, meno accurati e precisi, ma sicuramente di più facile acquisizione si potessero ottenere risultati soddisfacenti considerando anche la risoluzione di un metro delle immagini Ikonos pancromatriche.

Solitamente le immagini satellitari vengono ortorettificate e quindi proiettate rispetto al sistema UTM-WGS84 questo sia per non degradare l'accuratezza dei GCP originali solitamente acquisiti mediante GPS, sia per compatibilità con i sistemi di riferimento delle banche dati più diffuse ormai a livello mondiale.

In questo caso sia i GCP, sia i DEM, sia le eventuali cartografie da confrontare sono nel sistema nazionale Angolano di cui non esistono parametri ufficiali per la trasformazione in una delle materializzazioni del sistema WGS84, per tale ragione, almeno in questa prima fase sperimentale si è pensato di utilizzare questo sistema come riferimento per la georeferenziazione delle cartografie esistenti e della successiva ortorettificazione.

Il sistema di riferimento nazionale angolano

Il sistema di riferimento nazionale angolano Camacupa ha origine nel punto trigonometrico denominato "Campo de Aviacao" con coordinate Φ=12°01'19.070'' sud e Λ=17°27'19.800'' a est di Greenwich, tale vertice principale materializzato da un manufatto costruito a nord delle piste dell'aeroporto di Camacupa.

Prima degli anni sessanta in tale punto era orientato l'ellisoide di Clarke 1866, tra gli anni sessanta e gli anni settanta è stato effettuato il passaggio all'ellissoide di Clarke 1880 sempre orientato a Camacupa; alcuni geodeti portoghesi calcolarono delle tabelle di conversione tra i due sistemi.

La proiezione utilizzata è una proiezione UTM standard tranne per la città di Luanda ove è stata creata una griglia locale per la città di Luanda,le carte 1:2000 infatti sono state proiettate sulla griglia UTM considerando come origine il punto di coordinate Nord=9024 km e Est=306 km; a tale punto sono state assegnate delle coordinate fittizzie pari a 50 km sia in nord che in est;a tale griglia locale viene associato un fattore di scala pari a 1.00006581.

Grazie agli studi e ai dati pubblicati dalla EPSG (studio europeo sul petrolio),si hanno un certo numero di trasformazioni dal Clarke 1880 con datum Camacupa ad altri sistemi di riferimento.

Per esempio la Geophysical Services ha fatto la trasformazione da Camacupa a WGS72BE ottenendo un ΔX=-37.2m, ΔY=-370.6m e ΔZ=-228.5m.

La Conoco ha ottenuto la trasformazione da Camacupa a WGS84 ottenendo un ΔX=-42.01m, ΔY=-332.21m e ΔZ=-229.75m.

Sono state ottenute inoltre le trasformazioni nelle zone in mare aperto,in modo da ottenere le misure dell'intero litorale dell'Angola.

Inoltre in Angola esistono altri datum tipo,Lobito 1937,Luanda e Mocamedes 1956,tutti riferiti all'ellissoide di Clarke 1866.

Bibliografia

V. Baiocchi, P. Capaldo, M. Crespi, M. Mezzapesa, G. Pietrantonio(2007) , "*Calibrazione di alcuni modelli di geoide nell'area dei Colli Albani (Roma)*", Atti convegno ASITA 2007, Torino

Barzaghi, B. Betti, A. Borghi, V. Tornatore e G. Sona (2001): "*Ulteriori sviluppi nella stima del Quasi-Geoide Italiano e future Prospettive*" Atti XVIII Convegno nazionale GNGTS

ANALISI MULTI-TEMPORALE DELLE VARIAZIONI SUPERFICIALI DI UN CORPO DI FRANA MEDIANTE LA FOTOGRAMMETRIA D'ARCHIVIO E L'ANALISI DI SERIE TEMPORALI GPS

Paolo BALDI (*), Nicola CENNI (*), Massimo FABRIS (**), Antonio ZANUTTA (***)

(*) Dipartimento di Fisica – Settore Geofisica, Università di Bologna, e-mail: p.baldi@unibo.it, nicola.cenni@unibo.it
(**) Laboratorio di Rilevamento e Geomatica – DAUR – Università di Padova, e-mail: massimo.fabris@unipd.it
(***) DISTART – Università di Bologna, e-mail: antonio.zanutta@mail.ing.unibo.it

Riassunto
L'evoluzione della frana di Patigno, localizzata nell'Appennino settentrionale (Massa Carrara), è stata analizzata utilizzando la fotogrammetria d'archivio ed osservazioni GPS di una stazione permanente presente all'interno del corpo di frana. Le immagini fotogrammetriche, acquisite nel 1975, 1987 e 2004 sono state co-registrate nello stesso sistema di riferimento utilizzando il metodo basato sull'identificazione di punti omologhi nei modelli multi-temporali. Dall'analisi stereoscopica sono stati determinati 293 vettori spostamento all'interno della frana. La velocità di movimento della stazione GPS (circa 3.4 cm/anno dal 2004) è risultata congruente con la variazione media ottenuta dall'analisi fotogrammetrica. E' stato osservato che la velocità stimata varia stagionalmente fra 1 e 6 cm/anno e che il movimento della frana è ragionevolmente influenzato da fattori idrologici.

Abstract
The evolution of the Patigno landslide, a deep-seated gravitational slope deformation in the Northern Apennine (Massa Carrara), was investigated using archival photogrammetry and GPS observations from a permanent station located inside the landslide. Historical aerial photographs of the area taken in 1975, 1987 and 2004 were co-registered into the same reference frame using the method based on the detection of homologous points in multi-temporal models. The displacement vectors of 293 points in the landslide were determined. The average movement velocity of the GPS station since 2004 (about 3.4 cm/yr) agrees with the mean displacement rate obtained from photogrammetry. Furthermore, the estimated velocity varies seasonally between 3 and 6 cm/yr. This variability correlated with rainfall suggests that the creep of the landslide is influenced by hydrological factors.

Introduzione

Una delle metodologie più efficaci per la produzione di modelli digitali del terreno (DTM – *Digital Terrain Model*), che permettono la ricostruzione 3D della superficie del terreno, è costituita dalla fotogrammetria digitale. I DTM possono essere utilizzati per effettuare analisi morfologiche della superficie della terreno: accurati modelli acquisiti periodicamente su un'area caratterizzata da significative variazioni morfologiche vengono utilizzati per valutarne le deformazioni superficiali (Kääb et al., 1997; Bitelli et al., 2004; Baldi et al., 2005; Zanutta et al., 2006; Baldi et al., 2008). Un secondo approccio permette di ottenere anche vettori spostamento di punti distribuiti nell'area di studio misurando la posizione di elementi naturali e/o artificiali riconosciuti sulla serie multi-temporale di immagini stereoscopiche. Gli archivi di immagini fotogrammetriche sono una fonte di dati storici che in alcuni casi permettono di modellare le deformazioni di aree instabili nell'arco degli ultimi 50-60 anni. Nell'elaborazione di immagini storiche viene utilizzato il metodo

conosciuto come fotogrammetria d'archivio per estrarre informazioni metriche dalle foto aeree (Chandler, Cooper, 1988). In questo lavoro vengono presentati i risultati del monitoraggio delle deformazioni superficiali di una frana mediante le osservazioni di una stazione GPS permanente (interna alla frana ed operativa dal gennaio 2004) ed analisi di rilievi aero-fotogrammetrici effettuati nel 1975 (1:13000), 1987 (1:13000) e 2004 (1:30000). Il cinematismo della stazione GPS, a risoluzione giornaliera, e gli spostamenti di alcune centinaia di punti distribuiti sul corpo di frana, permettono di stimare una variazione media di circa 3.4 cm/anno e di determinare cambiamenti di velocità stagionali che sono stati correlati con i dati delle stazioni pluviometriche.

Elaborazione dei dati fotogrammetrici

La frana di Patigno (Massa Carrara) si trova nella parte interna dell'Appennino settentrionale al confine tra Toscana, Emilia-Romagna e Liguria (figura 1).

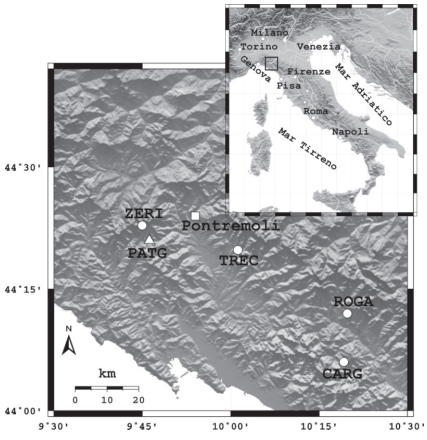


Figura 1 – Localizzazione della frana di Patigno; posizione della stazione GPS permanente di Patigno (triangolo, PATG) e di altre 4 stazioni permanenti (cerchi) Zeri (ZERI), Treschietto (TREC), San Romano in Garfagnana (ROGA), Careggine (CARG), utilizzate come riferimento. La posizione della stazione pluviometrica di Pontremoli è indicata dal simbolo quadrato

La determinazione delle variazioni superficiali della frana nell'arco degli ultimi 30 anni è stata effettuata mediante 3 rilievi aero-fotogrammetrici realizzati nel 1975 (1:13000), 1987 (1:13000) e 2004 (1:30000): le diapositive sono state rasterizzate mediante lo scanner fotogrammetrico *Wehrli Raster Master* RM2 a 12 µm ottenendo una risoluzione a terra delle immagini digitali variabile da 16 cm a 36 cm. Le immagini del 1987 e 2004 sono caratterizzate da una scarsa visibilità a terra a causa della copertura vegetale: al contrario, invece, le immagini del 1975 presentano una buona visibilità al suolo su tutta l'area di frana permettendo quindi di estrarre DTM automatici accurati con il software *Socet Set*© versione 5.3. Per ottenere il sistema di riferimento comune ai 3 rilievi, sono stati identificati sulle immagini punti naturali ed artificiali comuni, localizzati esternamente all'area di frana (e quindi supposti stabili); le coordinate di questi punti, utilizzati come punti fotografici d'appoggio, sono state misurate sulla CTR (Carta Tecnica Regionale) in scala 1:5000 ottenuta proprio dallo stesso rilievo aero-fotogrammetrico del 1975 utilizzato in questo studio. Dopo aver ottenuto i modelli stereoscopici e verificato la stabilità del sistema di riferimento (Baldi et al., 2008), sono stati estratti 3 DTM automatici con griglia di passo 5 m su un'area che comprende la frana e le porzioni circostanti. L'*editing* manuale è stato necessario per adattare le curve di livello alla reale morfologia del terreno nelle zone di scarsa correlazione, in quelle urbane e nelle aree vegetate. Il confronto tra i DTM fornisce le variazioni di massa nel periodo analizzato: in questo caso, tuttavia, l'errore di co-registrazione genera un errore sistematico dello stesso ordine di grandezza della massa totale coinvolta nel processo deformativo (Baldi et al., 2008). Per analizzare le variazioni della frana di Patigno è stato utilizzato quindi un approccio diverso: sono stati identificati e misurati in stereoscopia 293 punti omologhi in tutto il set di immagini multi-temporali (principalmente spigoli di edifici ed affioramenti rocciosi): dal confronto delle coordinate relative sono stati ottenuti vettori spostamento 3D nei due periodi 1975/1987 e 1987/2004. Data la copertura vegetale, i punti sono stati misurati quasi esclusivamente nelle aree edificate di Patigno, Noce e Val di Termine e limitatamente su edifici isolati. Per ottenere una descrizione continua dell'evoluzione cinematica della superficie della frana, i vettori sono stati interpolati sull'intero corpo di frana utilizzando l'algoritmo di interpolazione di *Kriging* (figura 2).

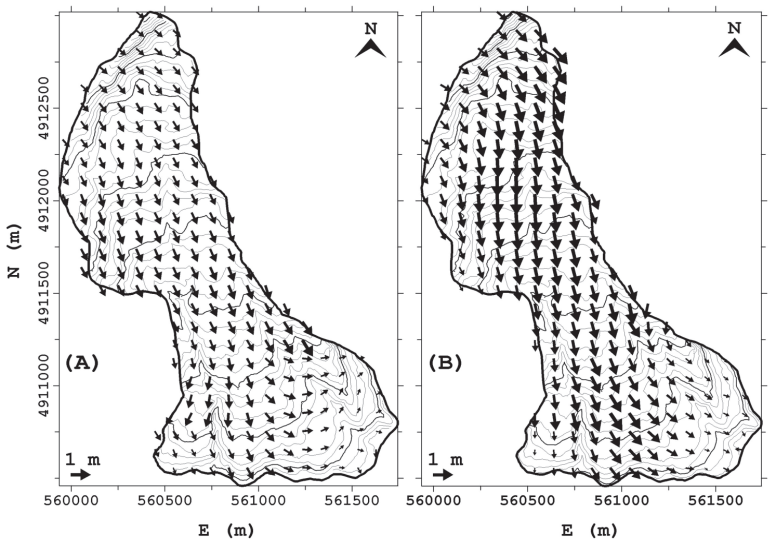


Figura 2 – Risultato dell'interpolazione mediante l'algoritmo di Kriging dei vettori spostamento di punti situati all'interno dell'area di frana: i vettori sono stati ottenuti dal confronto tra le coordinate di punti omologhi nei periodi 1975/1987 (A) e 1987/2004 (B)

Controllo geodetico della frana

Il movimento del settore centrale della frana a partire dal gennaio 2004 è stato monitorato utilizzando una stazione GPS permanente ubicata sul tetto del palazzo comunale situato al centro dell'abitato di Patigno. Le osservazioni giornaliere, con passo di campionamento a 30 secondi di questa stazione denominata PATG (figura 1) sono state integrate con i dati di altre 4 stazioni permanenti (CARG, ROGA, TREC e ZERI, figura 1) situate all'esterno dell'area interessata dal movimento franoso, come risulta dall'analisi dei loro movimenti relativi, che forniscono valori trascurabili (Cenni et al., 2008). Le osservazioni giornaliere di queste cinque stazioni permanenti sono state analizzate utilizzando il software *Gamit*© versione 10.33; le diverse soluzioni giornaliere sono state allineate nel medesimo sistema di riferimento assumendo fisse le coordinate della stazione ROGA. Le posizioni giornaliere di ogni stazione sono state utilizzate per ricavare una posizione mediata sull'arco temporale di una settimana con semplice media aritmetica. Questo ha permesso di ridurre il rumore numerico nelle serie temporali della posizione di ogni singola stazione e quindi di evidenziare con maggiore precisione un'eventuale variazione significativa nella posizione. Mediante un semplice approccio ai minimi quadrati sono state stimate le velocità medie con cui le singole stazioni si spostano nell'arco di un anno ed il relativo scarto quadratico medio (tabella 1).

Sigla	T	Vn	Ve	Vq	RMS n	RMS e	RMS q
CARG	4.46	0.0 ± 0.3	0.5 ± 0.2	0.8 ± 1.5	0.8	0.5	2.8
PATG	4.46	-29.8 ± 0.6	15.9 ± 0.5	-2.0 ± 1.9	2.5	2.2	6.1
TREC	4.46	0.7 ± 0.3	0.0 ± 0.3	-1.4 ± 1.5	1.1	0.9	3.1
ZERI	2.81	-0.2 ± 0.6	-0.3 ± 0.7	3.3 ± 2.5	1.6	1.7	3.9

Tabella 1. Velocità (mm/anno), relativa incertezza e scarto quadratico medio (RMS, mm) delle coordinate Nord (n), Est (e) e quota ellissoidica (q) di ciascuna stazione, ricavate utilizzando la serie temporale delle coordinate della posizione settimanale delle diverse stazioni GPS presenti nella rete (figura 1). T (anni) indica l'intervallo di tempo in cui la stazione è stata operativa.
I valori della stazione ROGA non compaiono nella tabella, essendo questa stazione presa come riferimento

Le incertezze relative alle diverse velocità sono state stimate utilizzando il metodo proposto da Dixon et al., 2000. I valori contenuti dello scarto quadratico medio ottenuti per ciascuna componente indicano che le stazioni analizzate non sono affette da particolari disturbi locali che, in caso contrario, ne aumenterebbero il valore. I risultati ottenuti indicano una sostanziale stabilità delle altre stazioni di riferimento (CARG, TREC e ZERI) rispetto alla stazione di ROGA, con velocità relative inferiori al mm/anno sia per quanto riguarda le componenti planimetriche (Nord ed Est) che la componente altimetrica (Quota), confermando l'ipotesi che i movimenti relativi tra questi siti siano trascurabili.

Analisi del movimento della frana di Patigno

Dalla stima ai minimi quadrati ricavata dai dati della stazione di Patigno (tabella 1, figura 3) si desume che il movimento franoso nel settore ove è ubicata la stazione risulta essere non trascurabile, ma caratterizzato da una componente planimetrica di circa 3.4 cm/anno in direzione Sud-Est ed una diminuzione della quota ellissoidica di circa 2 mm/anno (figura 3), con un'inclinazione del movimento, rispetto alla verticale. di circa 5°, compatibile con la pendenza media della superficie topografica nella zona coinvolta dal movimento franoso. Il risultato ottenuto dal monitoraggio geodetico è in accordo con la stima eseguita utilizzando la tecnica fotogrammetrica nella medesima area su un periodo più lungo; ciò indica un movimento continuo del corpo di frana.

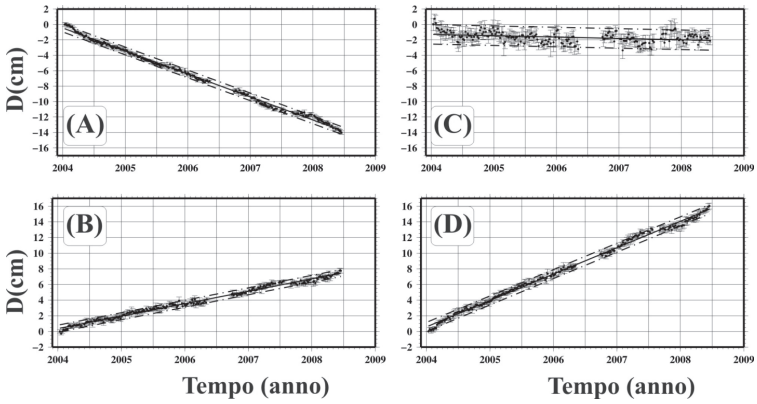


Figura 3 – Serie temporali settimanali delle coordinate Nord (A), Est (B), Quota (C) e della componete planimetrica (D) della posizione della stazione di Patigno. La linea continua indica il valore della velocità media stimata utilizzando tutte le osservazioni settimanali. La componente planimetrica è stata ottenuta mediante la somma in quadratura dei valori delle coordinate Nord ed Est. L'area delimitata dalle due linee tratteggiate indica l'intervallo di confidenza pari a 2 volte la dispersione della serie (scarto quadratico medio)

Allo scopo di evidenziare possibili movimenti periodici o improvvise accelerazioni del movimento del fenomeno franoso, è stata analizzata con particolare attenzione la variazione della posizione della stazione GPS di Patigno. In particolare, le serie temporali della componente GPS planimetrica e verticale sono state analizzate utilizzando il metodo della "velocità mobile", simile al metodo della "media mobile". La velocità del movimento franoso è stata determinata utilizzando solo i dati compresi in una finestra di n settimane. Successivamente, lasciando inalterata la dimensione della finestra, questa è stata spostata di una unità di tempo (nel nostro caso 1 settimana) e calcolato un nuovo valore di velocità, fino a quando non è stato esaminato l'intero periodo a disposizione. Nel nostro caso, abbiamo esaminato l'evoluzione delle componenti planimetrica e verticale con finestre di diverse dimensioni; nella figura 4 viene riportato il risultato ottenuto considerando una finestra di 20 settimane, escludendo le stime di velocità eseguite con meno di 10 osservazioni nell'arco di quel periodo, per garantire che le diverse velocità stimate abbiano la stessa significatività statistica.

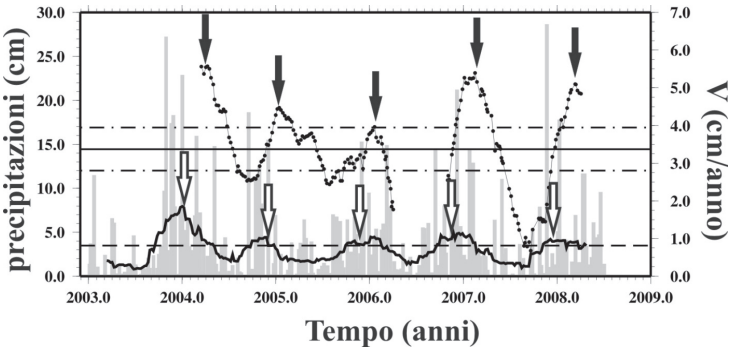


Figura 4 – Serie temporali della "velocità mobile planimetrica" ottenuta utilizzando le misure relative a 20 settimane della componente planimetrica e rigettando le stime eseguite con meno di 10 settimane di dati. La linea continua orizzontale indica il valore della velocità a lungo periodo della componente planimetrica. Le due rette tratteggiate individuano un'area pari a 2 volte la dispersione delle serie (intervallo di confidenza al 95%). L'istogramma illustra l'andamento temporale della piovosità settimanale registrata nella stazione pluviometrica di Pontremoli, la linea continua indica l'andamento medio della piovosità stimato utilizzando il metodo della "media mobile" con una finestra di 20 settimane, rigettando le medie ottenute con meno di 10 settimane. Le frecce bianche individuano i massimi di piovosità media mentre quelle nere indicano i massimi della velocità planimetrica

La figura 4 mostra che la velocità subisce delle oscillazioni significative con valori che vanno da circa 1 a 6 cm/anno con i massimi in corrispondenza del periodo invernale (gennaio/febbraio). Queste variazioni nella velocità di spostamento del fenomeno franoso potrebbero essere correlate con l'andamento nel tempo della piovosità nell'area (figura 4), come osservato in diverse zone coinvolte da instabilità gravitative (si veda ad esempio: Borgatti et al., 2006; Zhang et al., 2006). A questo proposito, mancando una stazione pluviometrica sul corpo di frana, sono stati presi in considerazione gli andamenti della piovosità settimanale (figura 4) registrati nella stazione di Pontremoli, localizzata in prossimità dell'area in frana (figura 1). Confrontando l'andamento nel tempo della velocità planimetrica e quello della piovosità, è possibile notare che i massimi di velocità (Frecce Nere, figura 4) sono successivi di circa 1-2 mesi i periodi di massima precipitazione (Frecce Bianche, figura 4). Questo ritardo potrebbe essere dovuto alla lenta infiltrazione dell'acqua piovana, con un graduale aumento della pressione di poro all'interno del corpo di frana, e conseguente riduzione degli attriti lungo la superficie di scorrimento (Zhang et al., 2006). Per tentare di modellare questo meccanismo di attivazione della frana, è stato utilizzato il semplice modello proposto Iverson (2000) che valuta il valore della pressione di poro in risposta alle variazioni cicliche della piovosità. Utilizzando questo modello, la soglia di criticità viene raggiunta ad una profondità di circa 10 metri dopo pochi giorni dall'inizio delle piogge più significative. Questo risultato però non è compatibile con le indicazioni riportate da altri autori (Federici et al., 2002) sulla profondità alla quale è posto un'eventuale piano di scorrimento, e nemmeno con l'intervallo di tempo di ritardo stimato (1-2 mesi). Dai risultati derivanti dalle osservazioni geodetiche possiamo quindi supporre che il movimento osservato della frana di Patigno si riferisce ad uno scorrimento lungo una superficie posta a profondità variabile (dai 10 ai 30 metri) coincidente con la discontinuità fra l'Unità di Canetolo e le argille densamente fratturate individuata tramite sondaggi e prospezioni da Federici ed altri (2002).

Conclusioni

Sono stati utilizzati tre rilievi aero-fotogrammetrici per valutare l'attività della frana di Patigno negli ultimi decenni. La media delle velocità superficiali, stimata dal confronto delle coordinate di

punti omologhi distribuiti sul corpo di frana, risulta coerente con le velocità osservate dalla stazione GPS di Patigno: spostamento orizzontale medio di 3.4 cm/anno con azimut di 150° e componente verticale della velocità di -0.2 cm/anno, compatibile con la topografia della frana che presenta pendenza di circa 10°. Le accurate osservazioni GPS hanno permesso di determinare variazioni stagionali della velocità che, assieme ai risultati dei rilievi fotogrammetrici, sembrano essere direttamente correlate all'idrologia del sito. E' stato applicato un modello, basato sul lavoro di Iverson (2000), per stimare gli effetti dell'infiltrazione delle piogge sull'innesco, sui tempi e sulla profondità della frana. Si è osservato un ritardo di 1-2 mesi tra le piogge ed il picco di velocità, supportando l'ipotesi che la superficie che scivola e che fornisce il movimento superficiale sia quella profonda. Lo studio conferma che la combinazione di osservazioni GPS in continuo, analisi di dati pluviometrici e l'elaborazione di rilievi aero-fotogrammetrici storici può contribuire a comprendere meglio le dinamiche di frane complesse. Il ritardo tra l'inizio della stagione piovosa e l'accelerazione del movimento della frana fa ipotizzare un movimento radicato probabilmente con una superficie di scivolamento nella parte più alta del basamento roccioso con una velocità media di deformazione di circa 3.4 cm/anno.

Bibliografia

Baldi P., Fabris M., Marsella A., Monticelli R. (2005), "Monitoring the morphological evolution of the Sciara del Fuoco during the 2002-2003 Stromboli eruption using multi-temporal photogrammetry", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 59, 4: 199-211

Baldi P., Cenni N., Fabris M., Zanutta A. (2008), "Kinematics of a landslide derived from archival photogrammetry and GPS data", *Geomorphology*, doi: 10.1016/j.geomorph.2008.04.027

Bitelli G., Dubbini M., Zanutta A. (2004), "Terrestrial Laser Scanning and Digital Photogrammetry techniques to monitor landslide bodies", *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Organising Committee of the XXth International Congress for Photogrammetry and Remote Sensing*, Istanbul, XXXV, B: 246-251

Borgatti L., Corsini A., Barbieri M., Sartini G., Truffelli G., Caputo G., Pugliesi C. (2006), "Large reactivated landslides in weak rock masses: a case study from the Northern Apennines (Italy)", *Landslides*, 3: 115-124

Cenni N., Baldi P., Mantovani E., Ferrini M., Viti M., D'Intinosante V., Babbucci D., Albarello D. (2008), "Short-term (geodetic) and long-term (geological) deformation pattern in the Northern Apennines", *Bollettino della Società Geologica Italiana*, 127, 1, in press

Chandler J.H., Cooper M. (1988), "The extraction of positional data from historical photographs and their application in geomorphology", *Photogrammetric Record*, 13, 73: 69-78

Dixon T.H., Miller M., Farina F., Wang H., Johnson D. (2000), "Present-day motion of the Sierra Nevada block and some tectonic implications for the Basin and Range province, North American Cordillera", *Tectonics*, 19, 1: 1-24

Federici P.R., Puccinelli A., D'Amato Avanzi G., Ribolini A., Verani M., Chelli A. (2002), "The large landslide of Patigno (Northern Apennines, Italy): geological, geomorphological and geognostic integrated analysis", *First European Conference on Landslides*, Balkema, A.A., Prague, Czech Republic, 1: 547-552

Kääb A., Haeberli W., Gudmundsson G.H. (1997), "Analysing the creep of mountain permafrost using high precision aerial photogrammetry: 25 years of monitoring Gruben Rock glacier, Swiss Alps", *Permafrost and Periglacial Process*, 8: 409-426

Iverson R.M. (2000), "Landslide triggering by rain infiltration", *Water Resources Research*, 36, 7: 1897-1910

Zanutta A., Baldi P., Bitelli G., Cardinali M., Carrara A. (2006), "Qualitative and quantitative photogrammetric techniques for multi-temporal landslide analysis", *Annals of Geophysics*, 49: 1121-1134

Zhang W.J., Chen Y.M., Zhan L.T. (2006), "Loading/unloading response ratio theory applied in predicting deep-seated landslides triggering", *Engineering Geology*, 82: 234-240

APPLICAZIONE DI UN SISTEMA INFORMATIVO GEOGRAFICO PER LO STUDIO DEI SISTEMI DUNARI COSTIERI. IL CASO DI PLATAMONA-MARRITZA (SARDEGNA NORD OCCIDENTALE)

Ileana BALDUZZI (*), Alessandra BOZZANO (*), Nicola CORRADI (*),
Roberta IVALDI (**)

(*) Dip.Te.Ris. Università di Genova, Corso Europa, 26, 16132 Genova, tel +390103538224
fax +39010352169, atlante@dipteris.unige.it
(**) Istituto Idrografico della Marina, Passo dell'Osservatorio, 4, 16100 Genova
tel +390102443363, roberta.ivaldi@alice.it

Riassunto

La mancanza nel panorama italiano di studi coordinati e di strumenti gestionali e cartografici in grado di mettere in evidenza l'evoluzione delle dune costiere italiane, ha incoraggiato la comunità scientifica nazionale a promuovere ricerche mirate. Il progetto di ricerca MIUR-Cofin: "I depositi eolici ed il flusso di sedimenti spiaggia-duna", ha prodotto, nel periodo 2002-2004, un GIS che contiene e confronta tutte le informazioni cartografiche, evolutive e vegetazionali sui campi dunari. E' stata così possibile la creazione di una cartografia georeferita nazionale alla scala di 1:10.000 ed un *database* associato sviluppato su una piattaforma ESRI *ArcGIS 8.3*. che contiene i dati morfo-sedimentologici delle dune e delle spiagge, i dati vegetazionali, di antropizzazione e infrastrutturali.
L'adozione di una base cartografica comune, derivante aerofotografie del 1998 rese disponibili dal Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio e del Mare, così come la messa a punto di una legenda che prende in considerazione tutta la casistica presente sul territorio nazionale, anche attraverso le diverse esperienze sviluppate in ambito internazionale, ha permesso di creare una base di dati bibliografici e di rilievi aggiornati, che mette in evidenza e descrive l'evoluzione, la morfodinamica, la sedimentologia, la vegetazione e le caratteristiche antropiche delle dune.
Vengono qui presentati i risultati dello studio delle dune costiere di Platamona-Marritza, nella Sardegna Nord-occidentale, ottenuti attraverso l'interpretazione di diverse levate aerofotografiche, la raccolta e l'analisi di dati di campo.

Abstract

Aware of a lack of co-ordinated studies, management plans and maps suitable for clarifying the equilibrium and evolutive trend of Italy's coastal dunes the national scientific community produced a GIS containing and comparing all the cartographic, evolutive and vegetational information on the dune fields during the period 2002-2004, as part of the MIUR-Cofin research programme "I depositi eolici ed il flusso di sedimenti spiaggia-duna". The final product was a national georeferenced chart on a scale of 1:10,000 and associated database on an ESRI ArcGis 8.2 platform containing all the available morphosedimentological, vegetational, anthropogenic and infrastructural data on the dunes and beaches.
The adoption of a national cartographic standard, a legend that took into consideration all the national situations, and international experience made it possible to a bibliographic data base and updated reliefs that highlighted the evolutive, morphodynamic, sedimentological, vegetational and anthropic characteristics of the dunes.

Below we present the results of the study of the coastal dune field of Platamona-Marritza in north-western Sardinia, obtained from the interpretation of various series of aerial photographs including the series taken in 1988, provided by the Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio e del Mare, that constitutes the cartographic basis of the GIS.

Inquadramento dell'area

Il tratto di litorale compreso tra Platamona e Marritza (Sardegna nord-occidentale) è stato scelto come sito di particolare importanza per validare l'applicazione del Sistema Informativo Geografico realizzato grazie al Progetto Miur-Cofin 2002 "I depositi eolici ed il flusso di sedimenti spiaggia-duna", in quanto caratterizzato da una significativa varietà di sistemi dunari e di condizioni di antropizzazione.

Questo tratto di costa (Fig. 1) si presenta come debolmente arcuato ed è caratterizzato da una spiaggia sabbiosa estesa circa 17 km, orlata da campi di dune prevalentemente orientate NW-SE e con altezze che raggiungono i 32 metri.

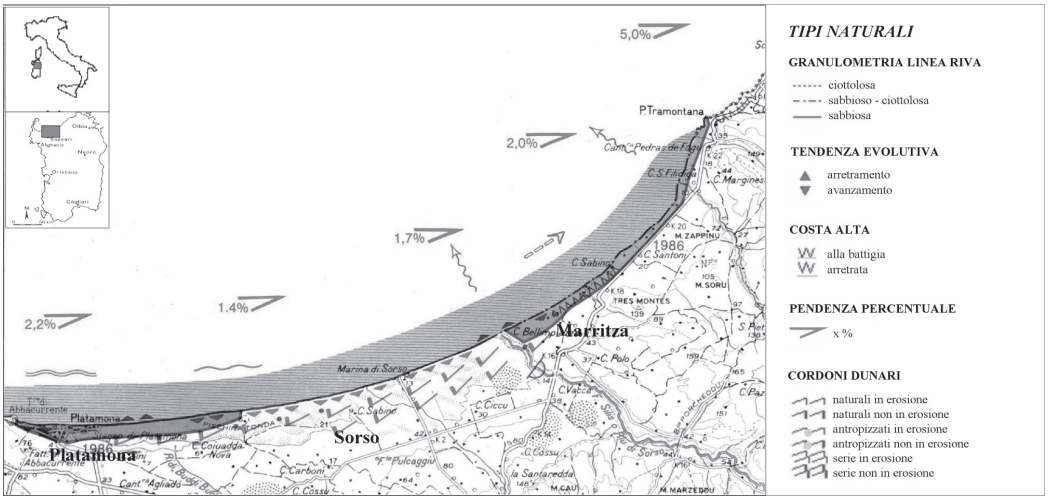


Figura 1 – Localizzazione dell'area di studio (da AA.VV., 1997, mod.)

Questo settore di costa è interessato da fasce di eolianiti di età diverse ed è possibile distinguere quelle pleistoceniche, quelle oloceniche e quelle attuali (Ozer, 1976). Queste ultime bordano la spiaggia per circa 15 km e sono costituite da dune longitudinali e paraboliche orientate mediamente tra N 110° e N 140°, come diretta conseguenza dell'azione del Maestrale.

L'alimentazione sedimentaria della costa è costituita principalmente dagli apporti solidi dei piccoli corsi d'acqua a carattere torrentizio che presentano una portata scarsa durante la maggior parte dell'anno. Infatti, i dati provenienti dalla stazione metereologica di Porto Torres indicano per il litorale di Platamona un clima caratterizzato da estati calde con forte deficit idrico con massimi termici attenuati dall'influenza termoregolatrice del mare e da un modesto apporto idrico nell'arco dei mesi compresi tra ottobre e gennaio. Il verso del trasporto dei sedimenti lungo la spiaggia è orientato da SO verso NE, sulla base dei dati forniti dall'Atlante delle Spiagge Italiane (AA.VV., 1997).

I venti di maggiore importanza per la dinamica litorale e dei sistemi dunari provengono dal I e IV quadrante (Grecale e Maestrale); nonostante sia il Libeccio, proveniente dal III quadrante, il vento

più frequente ed intenso, sono quelli provenienti dai settori marini ad avere una maggiore importanza per la morfogenesi delle dune litorali.
In questo contesto, le dune costiere rivestono un ruolo importante nell'equilibrio e nella stabilizzazione della spiaggia. Infatti, occupando una posizione retrostante la spiaggia emersa (*backshore*), sono sede di trasporto e deposizione sedimentaria conseguenti all'attività eolica, che trova alimento proprio nell'antistante area di deflazione. L'attivo scambio di sedimento tra spiaggia e accumulo dunoso è (Psuty, 1992) un fattore caratterizzante della duna costiera (avanduna, *foredune*), parte attiva nei complessi e delicati processi che regolano l'ambiente litoraneo ed il suo bilancio. Le dune assumono inoltre un'importanza notevole per la loro azione "respingente" contro le incursioni delle tempeste e contro l'erosione della linea di costa (Psuty, 1989; Arens, Wiersma, 1994) e perché costituiscono un'importante risorsa di sedimenti per l'equilibrio della spiaggia ed un fondamentale elemento di protezione degli ambienti naturali costieri quali stagni, lagune e zone umide *in sensu latu*.
Elemento determinante è anche il grado di copertura vegetale; la vegetazione, infatti, ha un ruolo decisivo nell'edificazione e nella stabilizzazione delle dune costiere. Immediatamente dietro alla battigia ma ancora nella zona intertidale, appaiono delle specie vegetali che, aumentando la rugosità della superficie, rallentano la velocità del vento e giocano così un ruolo pionieristico nel deposito e nella fissazione delle sabbie. Tali specie contribuiscono ad edificare quella che, convenzionalmente, è chiamata duna incipiente (Balduzzi et al., 2006).
La vegetazione psammofila, o delle sabbie, è adatta all'ambiente arido, all'estrema mobilità delle particelle al suolo ed all'azione del vento che trasporta la sabbia ed incrosta le piante di salsedine. In via generale, vengono sviluppate lunghe radici e fusti sia sotterranei che superficiali, con la specifica funzione di ancorare la pianta alla sabbia. Essa risulta estremamente specializzata in funzione dell'ambiente in cui si sviluppa; gli ecosistemi dunari sono infatti ambienti dove innumerevoli fattori esercitano un'azione limitante per tutte le forme di vita. Un fenomeno di facile osservazione è la presenza di una determinata combinazione di popolazioni appartenenti a specie diverse (Biondi et al., 2001).

Metodi e discussione dei dati

Le tre parti integranti da cui è costituito il *geodatabase* sono la componente geometrica, la componente informatica e la metainformazione. Gli aspetti cartografici sono stati trattati adottando come base cartografica le fotografie aeree del 1998 rese disponibili dal Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio e del Mare. A questa si sono riferite le linee di riva (Fig. 2) e gli altri tematismi desunti anche da altre fonti aerofotografiche per effettuare i confronti necessari a determinare l'evoluzione della linea di costa, delle dune e dell'occupazione antropica. In particolare, per la spiaggia Platamona – Marritza si è fatto ricorso, oltre che alle foto aeree del 1998, alle foto aeree del 1955 (b/n, 1:30.000), 1977 (b/n, 1:10.000) e del 2002 (colore, 1:10.000). Tutte le foto sono state scannerizzate ad una risoluzione di 600 dpi ed esportate in *files* TIFF a 24 bit di colore. L'ortorettifica e la georeferenziazione (WGS84, Fuso 32), sono state ottenute tramite il software ERDAS-*Imagine 8.4* ed infine i *files* sono stati importati nel *software* ESRI-*ArcGIS 8.3*.



Figura 2 – Evoluzione della linea di riva nel settore nord-orientale, presso l'abitato di Marritza (Compagnia Generale Ripreseaeree S.p.A., 2002)

Per quanto riguarda la base di dati, poiché il progetto MIUR-Cofin contemplava l'esame dello stato delle dune su tutto il territorio nazionale per consentire la creazione di un'unica struttura che fosse allo stesso tempo implementabile direttamente su scala nazionale e che potesse mantenere la congruenza generale del progetto, si è previsto un unico comune ambito nazionale (*Personal Geodatabase*) articolato poi in ambiti geografici che rappresentano i diversi sottogruppi regionali di lavoro (*Personal Geodatabese Feature Data Set*). In accordo con il Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio e del Mare è stato possibile utilizzare, come riferimento unico cartografico per il progetto, i contenuti cartografici del Portale Cartografico Nazionale accedendo ad esso con connessione remota (Balduzzi et al., 2005; Valpreda, 2006).
Per quanto riguarda la metainformazione, i metadati sono stati compilati secondo lo standard del *Federal Geografic Data Committee's* (FGDC) e l'archiviazione è stata fatta in formato XML.
Sono stati individuati 7 ambiti principali dell'informazione nella banca dati (Fierro, Valpreda, 2006):
1) Duna: elemento poligonale che rappresenta l'intera area dunare (dune incipienti, avandune e dune secondarie o inattive). Sono previste suddivisioni per: tipo (2 classi: attive e inattive, AT/NA); ampiezza spiaggia (3 classi: 0-20 metri, 20-60 metri, >60 metri); tendenza evolutiva della spiaggia (3 classi: avanzamento, arretramento, stabile); tipo di vegetazione (6 classi in base alla tipologia "visivamente" dominante: AL - alboreo, AR - arbustivo, ER - erbaceo, ALR - alboreo rado, ARL - arbustivo rado, ASS - assenza di vegetazione) (Fig. 3).

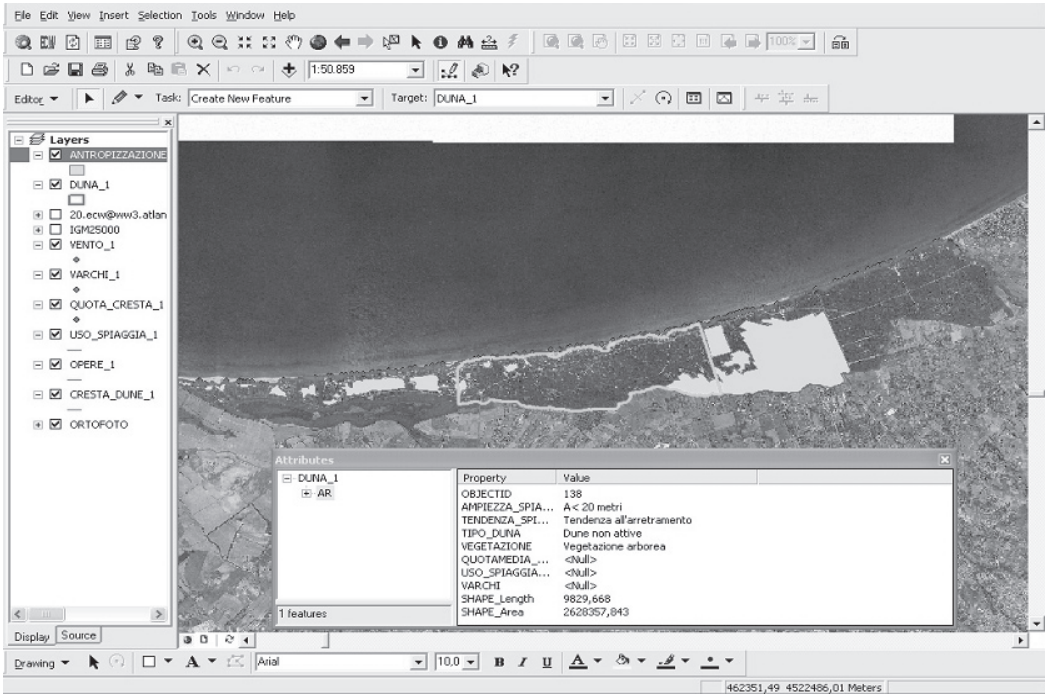


Figura 3 – Campi di dune nel settore Platamona-Marritza

2) Cresta duna: elemento lineare che indica a livello grafico l'andamento medio delle creste dei cordoni dunari, sia quelli attivi che quelli inattivi.
3) Antropico: elemento poligonale che definisce l'ingombro delle aree urbanizzate, dell'urbanizzato sparso e dell'antropizzato (inteso come area utilizzata ma a suolo nudo).
4) Opere: elemento lineare che, per convenzione, è posizionato al limite della battigia. Viene distinto per diversi tipi di opere: ripascimenti (RI), opere aderenti (OR), ripascimenti associati ad opere aderenti (RO).
5) Uso spiaggia: elemento lineare posizionato in prossimità del limite tra spiaggia e dune. Per indicare i diversi tipi di utilizzo della spiaggia antistante è distinto in: attività di occupazione temporanea (TE), attività di occupazione permanente (PE).
6) Varchi: elemento puntuale posizionato all'interno del poligono "Duna" ed in prossimità del varco verso mare. E' possibile la distinzione in: sentieri (SE), strade che hanno sbocco a mare (SR), varchi naturali (VN).
7) Vento: elemento puntuale che riporta la localizzazione geografica di stazioni meteorologiche significative, anche al di fuori dell'area costiera di osservazione diretta. Vengono inserite una seria di dati quali: nome stazione, quota sul l.m.m., periodo di osservazione.

Conclusioni

La necessità di realizzare uno strumento cartografico-gestionale sulla evoluzione delle dune costiere italiane che mettesse in evidenza le correlazioni tra processi naturali, l'evoluzione antropica e l'uso della fascia costiera ha indotto la comunità scientifica nazionale a realizzare un GIS che contemplasse l'evoluzione, le dinamiche morfo-sedimentologiche e vegetazionali dei campi dunari a scala nazionale, e che potesse divenire uno strumento gestionale del territorio costiero.

Attraverso la formulazione di una opportuna legenda messa a punto per descrivere, con un numero finito ma sufficiente ed esaustivo di parametri indice, l'assetto naturale ed antropico dei campi dunari, si è strutturato un *geodatabase* i cui campi hanno preso in considerazione tutti i parametri ritenuti idonei a descrivere l'evoluzione delle dune costiere. Il *geodatabase* è stato inoltre testato per essere rappresentativo di tutti i campi dunari costieri italiani.
Lo studio della spiaggia di Platamona-Marritza di circa 17 km, rappresenta una significativa validazione della fotointerpretazione e della strutturazione del GIS. In particolare, attraverso l'esame di foto aeree relative a differenti periodi, rilevi topografici di campagna, campionamenti sedimentologici e determinazioni vegetazionali, è stata messa in evidenza la rispondenza dei campi strutturati del *geodatabase*, quali descrittori delle dinamiche evolutive dei campi dunari.
E' stato così possibile individuare e quantificare l'erosione generalizzata del tratto di costa studiato, in particolare dell'estremo settore Nord, e inoltre definire l'estensione dei campi dunari.
L'analisi e la delimitazione delle associazioni vegetali ha contribuito a mettere in evidenza la stretta relazione tra l'evoluzione naturale e quella antropica del territorio: dalla piantumazione delle dune successiva al 1955 alla progressiva antropizzazione, individuando quei settori in cui l'erosione della spiaggia è più marcata e si riscontrano ripercussioni dirette sulle specie vegetali. Per quanto riguarda l'occupazione antropica dei campi dunari la fotointerpretazione relativa a diversi anni di rilievo (1955, 1977, 2002) ha rivelato la progressiva occupazione della fascia costiera e gli usi del territorio.
L'inserimento dei dati nel GIS ha consentito quindi di produrre un archivio sullo stato di conservazione delle dune costiere ed uno strumento gestionale di facile fruibilità, dove attraverso la scelta e l'incrocio di *layer* è possibile creare scenari di sintesi indispensabili per una corretta conoscenza e gestione del territorio costiero.

Bibliografia

AA.VV. (1997), *Atlante delle spiagge italiane*, a cura di: Giuliano Fierro, CNR-MURST., S.EL.CA., pp. 4, tavv. 108

Arens, S.M. and Wiersma, J. (1994), "The Dutch Foredunes: Inventory and Classification"*, Journal of Coastal Research,* 10: 189-202

Balduzzi I., Bozzano A., Corradi N., Ivaldi R. (2005), "The use of a GIS for analyse dune systems: the case of Platamona-Marritza (Northern Sardinia, Italy)", *International Cartographic Conference, A Coruña, 2005,* CD-ROM, file:///D:/htm/pdf/poster/TEMA5/ILEANA%20BALDUZZI.pdf

Balduzzi I., Corradi N., Ferrari M., Mariotti L.M., Vagge I. (2006), "L'evoluzione dei campi dunari di Platamona-Marritza (Sardegna settentrionale): aspetti morfo-sedimentologici e vegetazionali dell'area di Marina di Sorso", *Studi Costieri,*11: 71-92

Biondi E., Filigheddu R., Farris E. (2001), " Il paesaggio vegetale della Nurra", *Fitosociologia* 38 (2), Suppl. 2: 3-105

Fierro G., Valpreda E. (2006), "Banca dati geografici delle dune costiere in Italia", *Studi Costieri,* 11: CD-ROM

Ozer A., (1976), *Géomorpholgie du versant septentrional de la Sardaigne*, Thesis PhD, Univ. Liège (Belgique), Vol. 1-3 : 28-49

Psuty N.P. (1989), "An application of science to management problems in dunes along the Atlantic coast of the USA", *Proc. Royal Soc. Edinburgh,* B96: 289-307

Psuty, N.P. (1992), "Spatial variation in coastal foredune development". In: *Carter, R.W.G.; Curtis, T.G.F., and Sheely-Skeffington, M.J. (eds), Coastal Dunes*. *Rotterdam, A.A. Balkema*, 3-14

Valpreda E. (2006), "La banca dati geografica delle dune costiere in Italia: uno strumento per valutare l'interazione tra queste morfologie costiere, l'evoluzione dei litorali ed il loro utilizzo", *Studi Costieri,* 11: 3-16

CARATTERIZZAZIONE DI UN SITO INQUINATO ATTRAVERSO L'UTILIZZO DI TECNICHE AVANZATE DI TELERILEVAMENTO AEREO

Giovanni BALESTRI (*), Camillo PASSALACQUA (**), Andrea BALDELLA (**)

(*) Geologo libero professionista, via Cerri, 35 – 54011 Aulla (MS),
tel. 338.6498081, e-mail: giovanni.balestri@alice.it
(**) Gruppo di Esplorazione Aeromarittima - Guardia di Finanza – 00040 Pratica di Mare (RM)

Riassunto
Il forte degrado ambientale di alcune aree dell'Italia, nel nostro caso del Meridione, spesso causato illegalmente, obbligano il ripristino dei luoghi attraverso tecniche di bonifica molto complesse. Il Testo Unico dell'Ambiente (DLgs. 152/06 e successive modifiche) prevede a riguardo, dopo una prima indagine preliminare, la stesura di un Piano di Caratterizzazione dei luoghi, onde poter svolgere nel migliore dei modi e con tecniche idonee, la futura attività di bonifica. In questo contesto, per una prima caratterizzazione dei luoghi inquinati, il telerilevamento aereo, soprattutto per aree di una certa estensione, come ad esempio alcuni S.I.N. italiani (Siti di Interesse Nazionale), rappresenta la soluzione migliore per la stesura del quadro generale di primo intervento. Il Reparti Aerei della Guardia di Finanza, tra i propri compiti istituzionali, ha anche quello di contrastare l'illecito ambientale mettendo a disposizione della Magistratura, come inizialmente nel caso qui trattato, la propria tecnologia: il sensore aviotrasportato *Daedalus ABS 3500,* in forza presso il Gruppo di Esplorazione Aeromarittima di Pratica di Mare. I dati aerei raccolti in fase d'indagine, quindi, possono poi essere utilizzati per la Caratterizzazione vera e propria dei luoghi oggetti della bonifica.

Abstract
The Unique Text of the environment (DLgs. 152/06 and following changes), after a first preliminary investigation, it foresees the layout of a Plan of Characterization of the places for the future activity of reclamation. In this context, for a first characterization of the pollution, the aerial remote sensing, above all for areas of a certain extension, it represents a good solution to the problem. For these purposes, the Air Service of the Guardia di Finanza makes available the airborne sensor Daedalus ABS 3500, in power to Gruppo di Espolorazione Aeromarittima of Pratica di Mare. The collected aerial data in phase of investigation, can be used then for the Characterization of the places objects of the reclamation.

Introduzione

L'area da noi studiata e oggetto di una futura bonifica si trova in una zona a forte degrado ambientale del Meridione. Per lo scopo sono stati effettuati più voli, sia diurni sia notturni, a quote differenti, ripetuti poi nell'arco di più anni: l'obiettivo è stato quindi quello di studiare la tipologia delle superfici sorvolate (vegetazione, suoli, corpi liquidi in superficie) onde dare una prima caratterizzazione all'inquinamento in atto, già accertato per via analitica. La metodologia impiegata si è affidata ad un sensore aviotrasportato bispettrale in forza presso il Gruppo di Esplorazione Aeromarittima della Guardia di Finanza di Pratica di Mare (RM), da anni impegnata al contrasto

delle attività illecite sul territorio, il sensore *Daedalus ABS 3500*, operante nella banda dell'infrarosso termico (TIR) e nella banda ultravioletta (UV). Le strisciate aeree sono state geocodificate attraverso l'utilizzo di un sistema GPS interfacciato direttamente al sistema remoto e al sistema di navigazione dell'aeromobile. Le elaborazioni delle immagini, previa una lunga ed accurata campagna di indagine a terra (soprattutto per le colture agricole descritte), hanno permesso di caratterizzare il sito su questi tre aspetti: a. stato fisico della vegetazione dell'intera area interessata dall'inquinamento e soprattutto delle colture confinanti (nel caso di attività agricola in loco); b. fuoriuscita incontrollata del biogas (nel caso di certi invasi di discarica e nel caso di un inefficiente sistema di drenaggio e bruciatura in torcia dello stesso, ma anche in caso di migrazione laterale); c. predisposizione in alcune aree dei suoli ad essere impregnate da percolato, nel caso di un cattivo smaltimento dello stesso.

I voli aerei

Come anticipato, i voli sono stati effettuati in diversi momenti della giornata: il volo notturno per un ottimale rilievo delle anomalie termiche, anche nella vegetazione, quando di notte i corpi acquistano temperatura propria (valore di inerzia termica e di evapotraspirazione) e non sono eccitati dal sole; il volo diurno alla ricerca di ulteriori dati radiometrici, sulla base della radiazione ultravioletta (radiazione presente solo di giorno). La zona studiata è stata sorvolata quindi due volte, la prima tra le ore 14:00 e le ore 16:00 di un giorno d'agosto. Le condizioni meteo erano ottime, con un leggero vento da Sud, visibilità superiore ai 20km e umidità dell'aria nei limiti previsti. La quota di volo intrapresa è stata scelta sulla base di quello che dovevamo studiare e dell'area da coprire. La dimensione della cella (*pixel*) al suolo risulta essere, dopo gli aggiustamenti geometrici dell'immagine, compresa tra 0.50m^2 e 1.00m^2, ovvero relativa ad una quota di volo compresa tra circa 800 e 1200 piedi *ground* (tra 270m e 400m). La seconda volta tra le ore 21:00 e le ore 22:30 dello stesso giorno. Le condizioni meteo erano simili a quelle diurne, ma con vento assente. La quota di volo intrapresa è stata scelta come per il volo diurno, affinché poi le immagini potessero essere direttamente comparate alla stessa risoluzione (cioè con *pixel* di 0.70m di lato e di 1.25m, a seconda delle due altezze impiegate, 800 e 1500 piedi. Le temperature impostate sul sensore in fase di acquisizione sono state immesse diversamente per il volo diurno e quello notturno, ovvero in un *range* compreso tra 17 e 20°C di giorno e di 14°C per le superfici sorvolate di notte: questo vuol dire che i dati registrati sono stati acquisiti con una precisione media di 18.5/256-esimi di grado centigrado di giorno (ovvero con la precisione di 0.07°C) e di 14/256-esimi di grado centigrado per le superfici sorvolate di notte (ovvero 0.05°C).

Il nastro é stato decommutato dal suo formato speciale ad uno standard in due strisciate per il volo diurno provenienti da un file (*Exabyte* 8mm) e in tre strisciate provenienti da due file per quello notturno. Le due strisciate diurne sono doppie, ovvero i dati acquisiti sono nella banda, oltre che termica (TIR), anche ultravioletta (UV) e tutte sono state georiferite sulla cartografia in nostro possesso, una Carta Tecnica a scala 1:5000, restituita da aerofotografie con volo 2003, in coordinate Gauss-Boaga riferite all'European Datum 1950, scandita con opportuno scanner cartografico e georiferita con un procedimento algoritmico di tipo *Affine* del I Ordine, con l'utilizzo di 4 punti di controllo (GCP), con un errore medio (RMS) di circa =0.9m per le X e 1.6m per le Y ed un ricampionamento a 0.4m, ovvero con un pixel di 40cm di lato.

Tutti questi dati aerei, in quanto acquisiti a bassa quota, non hanno subito la correzione necessaria per eliminare l'effetto di assorbimento dell'atmosfera, pertanto si parlerà qui di temperature radiometriche apparenti e non di temperature di radianza al suolo (che comunque sono molto simili, nel nostro particolare caso. Balestri, 1993).

L'analisi termica poi é stata eseguita raggruppando i numeri digitali della scena in livelli (*density slicing*) e quindi in classi di temperatura radiometrica.

Le elaborazione dei dati aerei

I voli si sono svolti a quota diversa e sempre in un'unica direzione (S-N): sono state così decommutate 5 strisciate, come descritto in precedenza, e su due di esse sono state fatte le elaborazioni informatiche, ricavando ulteriori immagini tematiche come descritte di seguito.

Queste strisciate sono state georiferite sulla cartografia, secondo il procedimento dei punti di controllo a terra, o GCP (*Ground Control Point*) ed un *Warping* di tipo evoluto (II Ordine) ove necessario, e precisamente, per ciascuna delle due strisciate elaborate:

strisciata n.1, volo diurno: modello *affine* del II ordine, errore medio 3 metri nelle coordinate piane, ricampionamento a 0.4m di lato; strisciata n.2, volo notturno: modello *affine* del II ordine, errore medio 3 metri nelle coordinate piane, ricampionamento a 0.4m di lato.

Il ricampionamento si riferisce alla ricombinazione geometrica e radiometrica dei *pixel* dell'immagine modificati col *warping*: per i nostri studi è stato preferito un ricampionamento non distruttivo per la radiometria, ovvero di tipo "prossimo più vicino".

1. Analisi dello stato fisico della vegetazione.

Per ricercare eventuali forme di inquinamento diffuso dell'area sorvolata, come ad esempio la forte circolazione di biogas, è possibile analizzare la vegetazione circostante l'area indiziata, soprattutto ad alto fusto, onde captare alcune possibili anomalie nella loro normale crescita, causate ad esempio dal biogas che migra orizzontalmente nei suoli, producendo un forte stress all'apparato radicale o, in superficie, a quello fogliare. E' stata elaborata la seguente carta tematica secondo l'equazione (Balestri, Ceglie, 1999):

$$\text{Stato fisico veg.} = \text{immagine negativa UV / IRTd} \qquad [1]$$

con UV la banda ultravioletta e IRTd la banda termica diurna. In tal modo è stato elaborato il tratto S-N, strisciata n. 1 diurna (immagine originale non georiferita, per la conservazione della radiometria del dato acquisito), colorata con una *density slice* e da una distribuzione equalizzata dei colori e poi filtrata con un filtro mediano 4x4. I colori che si notano sono i seguenti: 1) Rosso: vegetazione ad alto fusto, stato fisico buono; 2) variazioni dal rosso, all'arancio e al giallo ocra: vegetazione meno rigogliosa e a basso fusto, e comunque stato fisico mediocre; 3) giallo, verde e blu: assenza di vegetazione. Nella nostra immagine, di tipo RAW, quindi grezza, elaborata come descritto, Figura 1 pag. seguente, si nota che il pescheto, nella circonferenza indicato con la lettera (A) risulta più rigoglioso di quello ad Est (a destra), indicato con (B): questo fatto è da mettere in relazione molto probabilmente con la produzione di biogas dell'area oggetto di studio che non viene eliminato con tecniche di convogliamento e bruciatura sul posto e quindi si infiltra lateralmente nel terreno (in assenza di teli o con teli lesionati) o rimane nell'atmosfera in loco, attraverso vie preferenziali non conosciute. Parimenti, il campo di granoturco (questa era la coltura al momento della ripresa aerea, si vedano i rettangoli, stessa figura) lato Est dell'area, si presenta con una biomassa molto meno rigogliosa nelle parte più prossimale all'area in studio (A) che nella parte più distale (B).

Ciò conferma quanto già osservato per le pesche. E' consequenziale ritenere che la produzione agricola per i terreni ad Est dei luoghi in studio (qui indicati con i simboli X, Z, I e II) abbiano una peggior quantità (e qualità) di raccolto che un'equivalente coltura situata in loco, nella parte meno interessata dalla migrazione del biogas. Il biogas, ricordiamolo, migrando nel primo sottosuolo, provoca uno stato di asfissia all'apparato radicale per carenza di ossigeno nei suoli. Questa differenza di stato fisico della vegetazione in uguali colture distanti solo poche centinaia di metri tra loro, è in relazione con la migrazione del biogas che, all'esterno dei luoghi da bonificare, avviene principalmente per il gradiente di pressione: infatti, come tutti i fluidi, tende a muoversi verso aree a minor pressione (ricordiamo ad esempio che nelle discariche, normalmente, la pressione è maggiore che nei terreni agricoli circostanti) che nel nostro caso coincidono evidentemente con le zone ad Est.

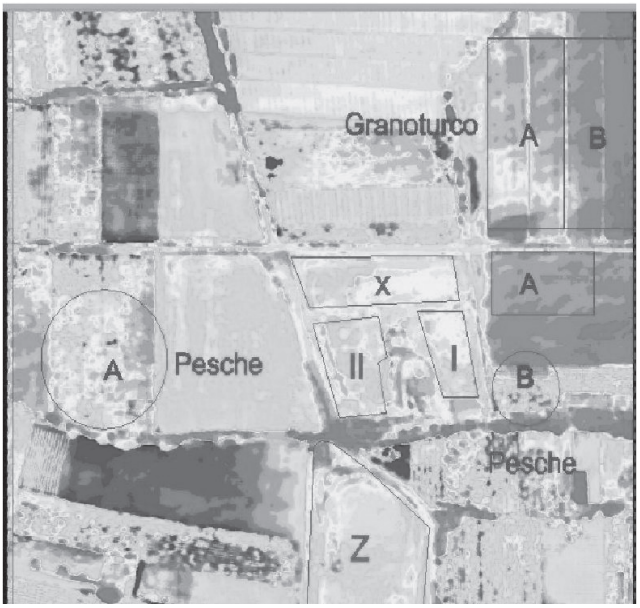


Figura 1 – Elaborazione dello Stato Fisico della vegetazione

Questo aspetto è anche determinato dalla topografia e geomorfologia dei suoli, dalla permeabilità e disposizione degli strati e dal contenuto d'acqua. Il nostro studio sullo stato della vegetazione delle due colture ha quindi evidenziato un aspetto oggettivo, e cioè il miglior stato fisico della vegetazione delle stesse colture ad Ovest che ad Est dell'area oggetto di futura bonifica.

2. Analisi dell'inerzia termica dei suoli.
Per l'analisi dell'inerzia termica delle superfici, avendo a disposizione i voli sia diurni che notturni della stessa area, è stata usata l'equazione completa che la rappresenta (Balestri, Ceglie, 1999):

$$\text{Inerzia Termica} = \text{Arctan}\,(IRTd/IRTn) \qquad [2]$$

con IRTd l'infrarosso termico diurno e IRTn quello notturno dell'area da indagare, che prevede l'utilizzo di due immagini termiche della stessa area riprese in momenti diversi (multitemporali, una diurna ed una notturna). Per effettuare quindi questa particolare elaborazione, è stata georiferita l'immagine termica notturna (la strisciata n.2) su quella diurna (la prima) utilizzando la stessa cella di risoluzione al suolo, a 0.4 metri, dato necessario per la loro ricombinazione in una immagine di sintesi. L'immagine di sintesi così ottenuta, è stata classificata in colori tematici secondo il procedimento di *density slice* già descritto per lo stato della vegetazione, e poi filtrata con l'algoritmo mediano 4x4. La carta tematica così ottenuta, ha messo in evidenza i seguenti aspetti:
inerzia termica dello stesso tratto S-N precedente, centrato sui luoghi da bonificare: questa informazione ci permette di studiare l'umidità dei suoli e la loro tessitura in funzione di eventuali ristagni di percolato subsuperficiali, della compattazione e del rimescolamento dei materiali in superficie. Ne è nata la seguente analisi (Figura 2): 1. la presenza di una gran quantità di percolato che ristagna in superficie (punti A, color marrone nell'immagine) ed in minor quantità nella zona indicata dai punti B e C rispettivamente). 2. Una compattazione blanda dei materiali di superficie dovuta alla presenza di terreno agrario utilizzato per la copertura dei rifiuti depositati di recente.

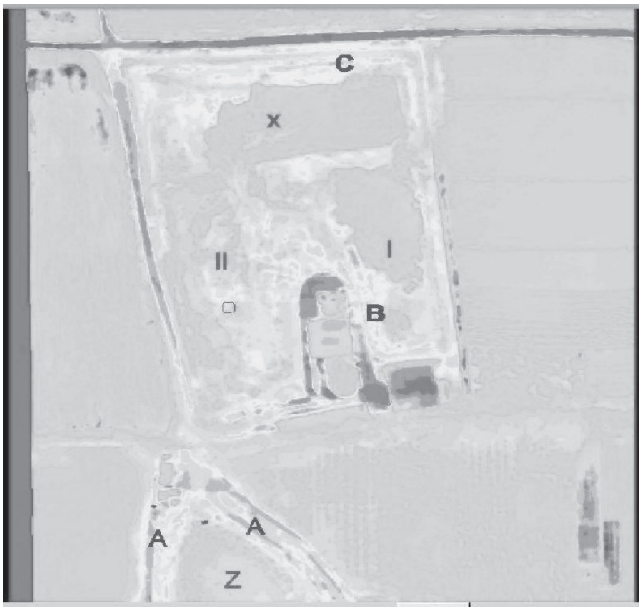


Figura 2 – Elaborazione dell'Inerzia Termica delle superfici

3. Analisi termografica delle superfici.
I dati acquisiti nell'infrarosso termico notturno sono molto interessanti in quanto questa tecnologia maggiormente si presta ai rilievi aerei, soprattutto se a bassa quota, come nel nostro caso.
Le elaborazioni tematiche di temperatura hanno permesso di pervenire alle seguenti considerazioni (si veda Figura 3):
- la presenza di un focolaio ancora attivo, residuo di alcuni incendi dei giorni precedenti il volo (in rosso, punto A) alimentato in continuo dal biogas sottostante;
- l'assenza nell'area oggetto di studio di fuoriuscita di biogas (caldo) dai camini a sfiato libero installati in più parti (non si osservano quindi *spot* caldi, ovvero *pixel* di colore giallo-arancione-rosso che rappresentano i colori delle superfici a maggior temperatura, nelle aree ove sono presenti i camini a boccaforo libero). I camini sono quindi da considerarsi del tutto inefficaci;
- si confermano le aree con la presenza di percolato libero in superficie o con superfici sature dello stesso (contrassegnati con C);
- si confermano gli stati fisici anomali per gli alberi ad alto fusto (i pini nella zona di confine tra due zone studiate, punti B): infatti nell'immagine termica risultano i più freddi delle superfici all'intorno, quando invece di notte dovrebbero essere a temperatura superiore di quella media registrata al suolo (Balestri, 1993).

Conclusioni
La presente trattazione dimostra che i dati telerilevati, se opportunamente analizzati con metodologie scientifiche nonché supportati da riscontri sul campo, possono produrre importanti spunti investigativi per il controllo del territorio, nonché lo studio dell'avvio del loro ripristino.
Il lavoro qui presentato, dopo ormai quasi 15 anni di operatività della Servizio Aereo della Guardia di Finanza in tal senso, ha dimostrato soprattutto che sono le immagini notturne e a bassa quota (sotto i 1000 piedi *ground*) a dare il maggior contributo all'indagine complessiva. E solo un'attività

militare può permettere l'effettuazione di voli così particolari. Il telerilevamento aereo ha permesso da prima l'individuazione di zone a forte degrado ambientale (nel nostro caso in maniera illecita) e, in un secondo momento, lo studio del successivo ripristino (messa in sicurezza permanente e bonifica) dell'area osservata.

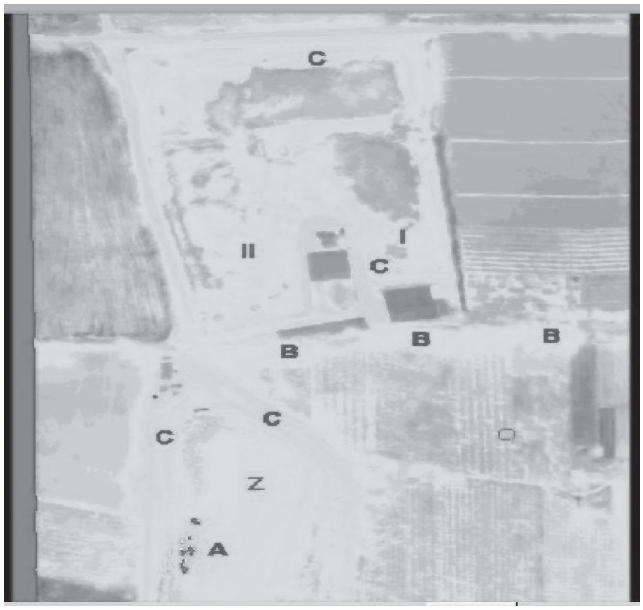


Figura 3 – Analisi Termica delle superfici

Nel nostro preciso caso in studio, le elaborazioni dello stato della vegetazione e l'analisi termografica dell'area sorvolata, hanno permesso di concentrare parte dell'attività di bonifica su due aspetti fondamentali: la migrazione laterale di biogas ed il ristagno diffuso di percolato in superficie. L'attività di telerilevamento ha anche focalizzato che l'intervento, se riferito al biogas, è da effettuarsi principalmente nella porzione ad Est dell'area interessata da futura bonifica, riducendo i tempi ed i costi d'intervento.

Bibliografia

Balestri G. (1993): *"The using of the airborne multispectral scanner Daedalus for land applications in Italy"*. Laboratoire Commun de Teledetection CEMAGREF-ENGREF, Montpellier, France.

Balestri G. (1993): *"Utilizzo dello scanner multispettrale aviotrasportato Daedalus per applicazioni nell'infrarosso termico"*. Consorzio Genova Ricerche, Genova, Italy.

Balestri G., Massaro M. (1995): "*Utilizzo del sensore aviotrasportato Daedalus AA3500 alla ricerca di discariche abusive in Centro Italia*". Pubblicazione interna ENEA, Roma.

Balestri G., Ceglie D. (1999): *"Utilizzo del Telerilevamento in aree a forte inquinamento ambientale, l'esperienza della provincia di Caserta"*. III Conferenza Nazionale ASITA, Napoli, pp. 545-550.

Balestri G. et alii (2001): *"Sensore Daedalus nel TIR per l'identificazione delle aree a rischio da colata detritica nel comprensorio di Sarno-Quindici"*. V Conferenza Nazionale ASITA, Rimini, pp. 137-142.

Balestri G. (2002): *"Il Telerilevamento aereo operativo"*. Pubblicazione interna GdF, Roma, pp. 375.

IL MOBILE GIS MULTISENSORE: UN NUOVO PARADIGMA NEL RILEVAMENTO

Giuliano GALLERINI, Marco LABATE

Leica Geosystems S.p.A., Via Codognino, 12 - 26854 Cornegliano Laudense (LO)
Tel. 0371.69731 Fax 0371.697333 g.gallerini@gmail.com marco.labate@leica-geosystems.it

Riassunto
Il lavoro di campo è cambiato. L'evoluzione tecnologica degli strumenti di misura e l'affermazione dei sistemi GIS, stanno definendo nuove esigenze e forse un nuovo paradigma nel fare il rilevamento. Leica Mobile MatriX (MMX) è un applicativo su piattaforma ArcGis 9.2, in grado di saldare il divario (apparente) tra GIS e topografia, di risolvere la necessità di integrare diversi sensori di rilievo e al contempo offrire la possibilità di semplificare le attività di campo fornendo una visione reale e globale delle attività del rilievo, consentendo al contempo di quantificare l'accuratezza del lavoro eseguito; In particolare MMX consente di:

- **interfacciarsi e gestire** qualsiasi sensori di misura (GPS, Stazioni totali, Livelli, Distanziometri laser, Laser Range Finder)
- **semplificare** le attività di rilievo, grazie a nuove funzioni specifiche e innovative
- **integrare** le funzionalità di ArcGIS per il rilievo, l'editing, la visualizzazione e il controllo dei risultati
- **ridurre** i tempi di post-elaborazione in ufficio dopo il rilievo.

In questo articolo sono illustrati i principali punti di forza del software e sono presentati tre casi di studio in ambito geologico (rilievo di pareti in roccia non accessibili), forestale (mappatura delle aree incendiate) ed infine topografico (aggiornamento della CTR al 2000).

Abstract
Field work is changed. Technology evolution of sensors and GIS development are defining new tasks and new methods to survey. Leica Mobile Matrix (MMX) is a new software based on ArcGis 9.2 platform, for solving the apparent gap between GIS and topography. Different sensors can be used and integrated with MMX and a new way to work in field is offered. MMX let the surveyor to use his sensors, see the survey job, check the accuracy and the precision of the final work directly in field. In particular MMX:

- Supports different sensors (Total station, GPS, Disto, Vector, Levels)
- Simplifies field work, using new specific and innovative functions
- Integrates ArcGIS functionalities in the project (editing work, viewing commands, checking operations)
- Reduces time in post elaboration work and let to go faster in field.

The main tasks of the software are described in this paper and three case studies are presented: a geologic application about landslide hazard in cliff area not accessible, forest application about fired area and a topographic survey for updating a 1:2000 technical map.

Introduzione

Negli ultimi anni si è assistito ad una rapida evoluzione tecnica e tecnologica che ha cambiato il modo di fare il rilievo in campo. Le prestazioni dei sensori per il rilievo sono aumentate, la

produttività del lavoro di campo è incrementata e nello stesso tempo è incrementata anche la richiesta di raccogliere la maggior quantità di dati e informazioni degli oggetti rilevati.
Si tenga anche in considerazione l'affermazione dei sistemi GIS che, negli ultimi 10 anni, hanno inciso così tanto sulla richiesta di informazione geografica da permeare nelle più disparate branche della scienza e della conoscenza, provocando una sete di dati geografici e quindi una nuova e intensa richiesta di rilievi di nuovi dati, con la conseguente necessità di nuove e integrate attività di rilevamento.
Assistiamo oggi ad una rivoluzione del lavoro di campo. Fino a qualche anno fa erano impensabili strumenti capaci di misurare fino a 1000 metri senza prisma con precisioni angolari di 1". Erano del tutto impensabili le integrazioni di strumenti di misura come poter inquadrare una stazione totale in pochi secondi poiché integrata con un GPS doppia frequenza in modalità RTK.
La crescita prestazionale di tutte le tipologie di sensori (TPS, GPS, livelli digitali fino ai laser scanner) ha trasformato e semplificato il modo di fare il rilievo e i sistemi GIS, in particolare, si sono affermati come strumenti multi-disciplinari, trasversali a numerose professionalità tra cui quella del topografo.
Si stanno pertanto affermando nuove necessità e nuove potenzialità nel rilievo di campo, tanto da incrementare la necessità di definire un nuovo paradigma nel fare il rilevamento.

Leica Mobile MatriX

Leica MobileMatriX (MMX) è una soluzione software per l'acquisizione, la visualizzazione e la manutenzione dei dati di rilevamento direttamente sul campo. MMX, basato sulla più recente tecnologia ArcGIS™ di ESRI®, è stato sviluppato per trovare un punto di contatto nel flusso di lavoro esistente tra i dati di campo e quelli d'ufficio. E' stato progettato specificamente per le esigenze dei rilevatori nella raccolta dati e per i professionisti del GIS. MMX permette di effettuare il controllo di qualità del dato geometrico in campo azzerando le spese di rivisitazione del sito. Rappresenta un'evoluzione della tecnologica GIS mobile e consente così di trasformare il GIS in un GIS Multi-Sensore. E' il primo GIS mobile che interagisce con differenti strumenti di misura, consentendo di mantenere un'elevata accuratezza geometrica nel *geodatabase*. Infatti, permette di eseguire misure di alta precisione tramite sensori GPS, stazioni totali, livelli digitali e laser range-finders e di creare o aggiornare le *feature class* del progetto GIS. In questo modo è possibile eseguire un rilievo topografico di precisione, georeferenziato nel sistema di proiezione e di coordinate desiderato ed inoltre consente di collezionare tutti i dati sui singoli oggetti rilevati. Sono pertanto integrate sia le esigenze di lavoro GIS che quelle topografiche, sia quelle di ufficio che quelle di campo, sia quelle di precisione che quelle di agilità e semplicità del rilevamento: tutte queste peculiarità identificano in Leica MobileMatriX la nuova concezione di un GIS multi-sensore. MMX rappresenta una soluzione unica nel suo genere (non esistono soluzioni integrate GIS multisensore così complete sul mercato), che agevola le attività di rilevamento topografiche e GIS mantenendo così elevati livelli di accuratezza e precisione insieme a una integrità topologica degli oggetti GIS. Questi i principali punti di forza:

1. Tutti i dati misurati durante il rilevamento sono archiviati nel *geodatabase* ESRI, annullando la necessità di conversione dei dati quando si passa da MMX a ArcGIS. Per garantire la massima compatibilità con tutti i sistemi, MMX consente di interagire con i dati provenienti da fonti diverse, come i sistemi CAD, gli Shapefiles e i dati Raster.
2. Eseguire un numero minore di misure, comporta un'economia nelle attività di campo. Questo nuovo concetto di editing utilizza un punto di misura per creare contemporaneamente più oggetti grafici appartenenti a tematismi diversi. La flessibilità della funzione *multiple feature*, consente all'utente di eseguire complesse azioni di rilevamento con un immediato feedback visivo, mantenendo un controllo sulla qualità e completezza del lavoro eseguito. Il risultato è un set di dati topologicamente corretto.

3. MMX memorizza nel *geodatabase* tutti le coordinate rilevate e calcolate e le relative informazioni di qualità, consentendo agli utenti di decidere quali coordinate utilizzare. Questo elimina la perdita di vecchie informazioni e permette di navigare in continuo nei valori calcolati. Sono pertanto operabili direttamente in campo le funzioni e le attività di controllo del rilievo. Questa funzionalità permette di ridurre (quasi azzerare) le attività di post elaborazione in ufficio. Vengono pertanto semplificate e integrate le attività in campo e ridotte le attività in ufficio.
4. MMX include anche funzioni COGO di facile utilizzo, visivamente interattive con le *feature class*. Le misure visualizzate nella mappa vengono memorizzate come misure nel geodatabase. Tra le principali funzioni COGO ricordiamo:
    - Delta XY, Direzione/Distanza e angolo tangente
    - Curva raccordo e curva circolare
    - Calcolo dell'intersezione
5. E' possibile mantenere sotto controllo gli standard di qualità del rilievo tramite funzioni di controllo disponibili direttamente sul campo e azioni d'acquisizione e revisione dati significativamente semplificate.



Figura 1 – Operatore in fase di rilievo con GPS e Tablet PC

L'ambiente di lavoro in campo cambia: E' caratterizzato da un *Tablet PC* (preferibilmente *rugged*), con ArcGIS e MMX installati e qualsiasi sensore di misura necessario per il rilievo, preferibilmente *bluetooth* oppure collegato via cavo. Il lavoro di campo avviene direttamente sul *geodatabase* e i risultati del rilievo (sia in termine di punti battuti che di nuove *feature* GIS) si vedono direttamente sul campo, già inseriti nel sistema di coordinate prescelto. Il vertice della *feature* può essere 3D e può provenire da una o più misure effettuate con uno o più strumenti di misura (esempio posizione planimetrica da GPS e quota da livello digitale). Ciascuna *feature* può contenere qualsiasi tipo di informazione e dato e grazie a specifiche funzionalità come il *clone*, si risparmia tempo nell'inserimento di dati ripetitivi. MMX consente infine di gestire completamente il sensore; pertanto in campo non si portano più i dispositivi di controllo del sensore poiché tutti integrati nell'interfaccia *sw* direttamente nel *Tablet PC*.
I vantaggi offerti da MMX sono legati al nuovo metodo di fare il rilievo.

Per il topografo è una soluzione chiara e facile da usare che consente di tenere sotto controllo tutte le specificità delle misure, consente di controllare precisione e accuratezza direttamente in campo, consente di vedere in mappa il risultato del rilievo. Al contempo vengono create e salvate le *feature* GIS nel *geodatabase* così come vengono elaborati *report* analitici delle misure effettuate (libretto delle misure).
Per l'utente GIS l'innovazione di MMX è una sorprendente semplicità nel gestire, configurare e utilizzare sensori differenti con precisione millimetrica come fossero il mouse in ufficio; Accrescerà la consapevolezza che le attività di *data collector* si possono finalmente fare anche con altissima precisione, addirittura raffigurando visivamente il loro grado di accuratezza.
Per tutti gli utenti emerge, di fatto, la semplicità d'uso, il risparmio di tempo in campo e in ufficio, il completo controllo della componente GIS e di quella topografica.

Allo scopo di verificare sul campo gli ambiti di applicazione e gli effettivi benefici di MMX, presentiamo di seguito tre casi di studio.

Rilievo speditivo di frane su pareti rocciose

Nell'ambito di un Programma Interreg IIIa Alcotra Italia-Francia, è stato condotto da Arpa Piemonte il progetto PROVIALP (PROtezione della Viabilità ALPina), con l'obiettivo di individuare una metodologia per la prevenzione e gestione del rischio da caduta massi in ambiente alpino, da mettere a disposizione degli enti preposti alla sicurezza delle reti viarie, (strade, carreggiate, sentieri) al fine di minimizzare i rischi per persone o mezzi in transito sulle vie di comunicazione. Durante lo sviluppo del progetto ci si è scontrati con la necessità di caratterizzare fronti rocciosi su cui non era possibile effettuare misure dirette, in genere a causa delle difficoltà di accesso diretto alla parete. Inoltre, la necessità di ridurre al massimo i tempi per il rilevamento, hanno portato a sperimentare una metodologia specifica per il rilievo a distanza, mediante il supporto delle tecnologie di misura e di posizionamento integrate in uno strumento GIS.

Nel caso specifico sono stati utilizzati un ricevitore GPS (Leica ATX1230) doppia frequenza per il posizionamento e un *Laser Range Finder* (Leica Vector 1500) per la misurazione degli oggetti geologici in parete. Sfruttando le tecniche di correzione differenziale è stato possibile georiferire i punti di posizionamento della stazione di misura con precisione centimetrica, eseguendo il rilievo in modalità RTK o eventualmente post processato in ufficio. Il *Laser Range Finder* è un binocolo ad alta risoluzione ottica con integrati distanziometro laser (massima portata da 2 a 25 Km con precisione da 1 a 5 mt, a seconda del modello), bussola magnetica, e clinometro digitale. Il GPS consente di determinare accuratamente la posizione assoluta di stazionamento, mentre il *Laser Range Finder* determina tutte le componenti geometriche necessarie per il posizionamento in mappa degli oggetti che s'intendono rilevare, nel caso specifico: ubicazione delle principali discontinuità; identificazione dei principali cinematismi (potenziali ed avvenuti); stima delle altezze dei cinematismi evidenziati; stima dei volumi di materiale coinvolto; individuazione dei principali blocchi instabili; ubicazione delle opere di protezione e controllo presenti nel territorio.

Avendo creato opportunamente *feature classes* 3D nel progetto GIS, ciascun vertice rilevato ha una coordinata assoluta X,Y,Z con una accuratezza finale di ± 1 mt.

Sulla base dei dati rilevati sono stati successivamente eseguite delle elaborazioni, allo scopo di calcolare le dimensioni dei blocchi, misurarne le distanze dalla rete viaria, stimare la persistenza e la spaziatura delle fratture, estrapolare in 3D i punti misurati sui piani allo scopo di stimarne l'orientazione, ed eventualmente estrapolare piani opposti per individuare il volume dei potenziali blocchi instabili. Non è stato necessario svolgere alcuna ulteriore operazione di post-processamento dopo l'attività di terreno, ad esclusione di quelle necessarie per interpolare i dati (costruzione del DEM, estrapolazione dei piani individuati per valutare la eventuale presenza di potenziali cunei di distacco).

Nel complesso l'applicativo è risultato molto semplice nell'utilizzo e ben integrato nell'ambiente ArcGIS 9.2. Semplice e immediato l'interfacciamento ai sensori, comodo e pratico l'utilizzo della tecnologia *wireless*. Considerando il livello di precisione e accuratezza degli strumenti (centimetrico per il GPS e metrico per il *Laser Range Finder*), il rilievo finale può considerarsi idoneo all'uso per una scala di medio dettaglio (circa 1:5000). La configurazione utilizzata (*Tablet PC* + MMX + GPS + *Laser Range Finder*) si è dimostrata estremamente flessibile e pratica per qualsiasi esigenza (peso contenuto e durata batteria sufficiente per una giornata di lavoro, ben trasportabile in uno zaino). Nel complesso il metodo sperimentato si rivela una possibile soluzione per il rilievo speditivo e la caratterizzazione di pareti di difficile accesso, risultando più produttivo e preciso rispetto ad un rilievo "a distanza" senza l'ausilio di strumentazione e molto più rapido, sebbene decisamente meno dettagliato, rispetto ad un rilievo direttamente in parete o mediante *laser scanner*.

Rilievo di aree incendiate

Secondo quanto previsto dalla Legge 353/2000 è obbligo istituire un catasto comunale delle aree percorse da incendio. Per fronteggiare questa esigenza, alla quale i Comuni non adempiono per

mancanza di mezzi, risorse e competenze, è stato avviato un servizio in forma associata da parte della Comunità Montana dell'Alto e Medio Metauro. La sperimentazione ha riguardato il rilievo degli incendi occorsi nell'estate 2007 nel territorio di uno dei comuni della Comunità Montana: Borgo Pace (PU). L'amministrazione, seppur dotata di una piattaforma GIS, di cartografia tecnica e di foto aeree, aveva la necessità di mettere a punto una metodologia di rilevamento rapido, con un buon grado d'accuratezza, semplice nell'uso e nella gestione.



Figura 2 – La squadra di rilevamento delle aree interessate da incendi boschivi

Allo scopo è stata utilizzata, a livello sperimentale, la soluzione Leica MobileMatriX installata su un *Tablet PC* ed integrando l'utilizzo di una GPS doppia frequenza (Leica ATX1230).
La configurazione dell'antennna via *bluetooth* ha consentito di muoversi abbastanza agevolmente nell'area boscata. L'assenza di cavi e l'indipendenza del sensore dal tablet ha permesso di lavorare talvolta con un solo operatore (dotato di apposita pettorina per il sostegno del *tablet* al corpo) oppure con due operatori (sfruttando così le potenzialità del segnale senza fili fino ad un massimo di 6/8 metri).
MMX consente di effettuare il rilievo in modalità RTK o con correzione differenziale in post processing, adeguandosi così all'assenza del segnale UMTS (cosa che accade sovente, soprattutto nelle zone più interne dell'Appennino, come in questo caso specifico).

I principali risultati e benefici ottenuti sono:

- Risparmio di tempi e di costi del rilievo. Infatti seppur l'investimento nella soluzione proposta è rilevante, potrebbe essere facilmente ammortizzata per l'ampio spettro di applicazioni e per la possibilità di utilizzare la strumentazione in forma associata da parte della CM;
- Semplicità d'uso e facilità nell'effettuazione del rilievo anche da parte di operatori senza competenze specifiche (soprattutto lavorando in modalità RTK).
- Possibilità di integrare il rilievo con altre informazioni: dati, commenti e foto dell'area; sovrapposizione con i dati catastali per individuare i mappali interessati e i proprietari delle particelle interessate dall'incendio.
- Riduzione della possibilità di commettere errori in fase di rilievo e funzioni di controllo, anche visive, sul grado di accuratezza del rilievo, consultabili direttamente in campo.

Aggiornamento della CTR

Il circondario empolese valdelsa (con sede a Empoli) è un Ente intermedio di istituzione regionale che svolge alcune competenze di ordine provinciale e gestisce alcuni uffici associati per alcune competenze comunali (tra cui SIT, Informatica, VV.UU).
L'ufficio SIT del circondario si trova ad utilizzare la cartografia regionale disponibile:
La Carta Tecnica Regionale, prodotta dai primi anni '90 in formato digitale alle scale 1:10.000 con copertura l'intero territorio e la CTR 1:2.000 con copertura solo delle aree urbane. Le operazioni di aggiornamento sono state effettuate solo raramente spesso in occasione della redazione di strumenti urbanistici.

Questo territorio ha assistito ad un ampliamento urbanistico e industriale molto forte e in alcuni casi rapidissimo nei tempi, tanto che ci si trova talvolta ad osservare che la CTR al 2.000 è completamente priva di zone industriali o di nuove aree di espansione dei centri urbani.
Considerata l'importanza della cartografia di base per qualsiasi tipo di attività cartografica e di gestione del territorio, l'ufficio SIT del circondario ha valutato la necessità di effettuarne un aggiornamento.
Considerato peraltro che il circondario era già in possesso di sensori di misura (Stazione Totale, GPS doppia frequenza e Disto), si è valutata l'idea di applicare MMX per l'aggiornamento della CTR 2.000.
A tal scopo sono state caricate tutte le sezioni originali e, sulla base delle specifiche originali del rilievo seguite in fase di restituzione aerofotogrammetria, sono stati create nel progetto GIS le *feature class* che si intendevano aggiornare, con i relativi codici e relative impostazioni grafiche.
L'inquadramento a terra delle stazioni è stato rapido e molto agevole poiché integrato con il GPS e immediatamente trasformato nel sistema di riferimento su cui la stessa CTR è impostata (Gauss Boaga Roma 40, fuso EST). Pertanto in fase di rilievo l'operatore vedeva la corrispondenza del punto o dell'oggetto rilevato rispetto all'orotofoto georeferenziata e alla CTR originale.
Estremamente utile è stata la possibilità di integrare e passare dall'uso di un sensore di misura all'altro. Se infatti il GPS è risultato comodo ed agevole per il rilievo dei marciapiedi, nelle vie più strette, ove il segnale GPS risultava scadente, si eseguiva il rilievo con la stazione totale passando da uno strumento all'altro con un semplice click.
Altro risultato del tutto innovativo e molto utile (sopratutto in ambito GIS), è stata la possibilità di utilizzare funzionalità specifiche per eseguire un rilievo topografico e topologico allo stesso tempo. La funzione *multiple feature* infatti, consente di associare a più feature contemporaneamente le coordinate di un punto misurato. Quindi, ad esempio il vertice comune tra marciapiede, strada e tombino, era misurato con un punto e le coordinate calcolate erano attribuite contemporaneamente alle tre *feature* (puntuale per il tombino, areale per il marciapiede e lineare per il bordo strada). Questa funzionalità permette al contempo di ottimizzare la modalità di esecuzione del rilievo con ottime performance, risparmiando tempo e la possibilità di errore.
Topologicamente questo approccio è congruente, poiché due oggetti adiacenti avranno lo stesso numero di vertici con le stesse coordinate e questa tecnica di rilievo assicurerà una corretta topologia tra *feature* della stessa *feature class* ma anche di differenti *feature classes*.
Il risultato ottenuto è stato marcatamente positivo poiché d'elevata precisione, effettuato con rapidità in campo e con risultati facilmente integrabili con la cartografia esistente.
Tale approccio è risultato efficace ed efficiente considerando peraltro le economie e i tempi in gioco per l'eventuale esecuzione di un nuovo rilievo LIDAR o aerofotogrammetrico dell'intero territorio del circondario.

Conclusioni

Leica Mobile MatriX è una soluzione unica nel suo genere. Ha dimostrato un'elevata capacità di adattamento ai più diversi ambiti di applicazione. Il principale punto di forza è l'integrazione tra tutti i sensori di misura e una piattaforma GIS robusta e diffusa quale ArcGIS.
MMX offre un innovativo modo di fare rilevamento, riduce i tempi di attività in campo, e si pone come un nuovo paradigma nell'attività di campo, sia per i topografi, che possono mantenere elevate le precisioni e le accuratezze, sfruttare appieno delle caratteristiche tecniche dei sensori visualizzando immediatamente sul campo il risultato del loro lavoro e integrandolo con altri tematismi GIS, sia per gli operatori GIS che scopriranno come è facile passare dal mouse all'utilizzo di un sensore di misura per eseguire il rilievo ottenendo risultati di indubbia e forse inattesa qualità posizionale.

LA MEMORIA DIGITALE DELLA FORMA GEOMETRICA: SCANNER 3D E FOTOGRAMMETRIA DIGITALE PER LA REALIZZAZIONE DI MODELLI VIRTUALI, PER LA RIPRODUZIONE, PER LA CONSERVAZIONE E PER LA RIATTUALIZZAZIONE DI OGGETTI

Caterina BALLETTI, Francesco GUERRA, Paolo VERNIER

Università IUAV di Venezia – Circe Laboratorio di Fotogrammetria
Tolentini S.Croce 191, 30135 Venezia
balletti@iuav.it; guerra2@iuav.it; vernier@iuav.it

Attualmente le attività di ricerca svolte dal laboratorio di fotogrammetria del Circe si propongono due obiettivi generali: il primo è di verificare metodi e strumenti per il rilievo di oggetti di dimensione contenuta, come modelli lignei, globi terrestri e particolari architettonici (come ad esempio i capitelli di uno stesso ordine che nel corso dei secoli si realizzarono in diverse varianti) dei quali si intende analizzare l'impianto geometrico di base confrontandolo rispettivamente con le realizzazioni architettoniche (nel caso dei modelli lignei), la cartografia coeva (nel caso dei globi) e le varianti (nel caso dei capitelli).
Le strumentazioni che si intendono mettere a confronto sono:
• i sistemi di scansione 3D ottici (triangolatori, conoscopia, luce strutturata, ecc.) e
• i sistemi fotogrammetrici digitali, monoscopici, stereoscopici e automatici.
Il confronto riguarderà gli aspetti metrici (precisione e ripetibilità) e quelli applicativi (caratteristiche e praticità d'uso) in relazione a classi di oggetti. Il secondo riguarda in particolare la richiesta di un'adeguata modalità di rappresentazione, nel tentativo di affrontare la sempre aperta questione relativa alla rappresentazione dello stato iniziale/ideale di un manufatto nei confronti di quello che risulta dal rilievo numerico effettuato.
La strada che si intende seguire è quella della costruzione di modelli digitali tridimensionali dei dati rilevati che seguano entrambi i percorsi (geometrie ideali-geometrie rilevate) e di valutare l'efficienza dei modelli digitali creati in relazione da una parte alla natura degli oggetti stessi, dall'altra dalla necessità/volontà di ri-attualizzare e ri-utilizzare gli oggetti originali.
Il primo obiettivo è strettamente ed essenzialmente di ordine tecnico e si propone di affrontare problematiche proprie dei settori scientifici che si occupano di misura e di rappresentazione. Il secondo obiettivo, invece, pur partendo, e non trascurando, le considerazioni tecniche, vuole affrontare il difficile rapporto tra virtuale e reale che attualmente è uno dei temi principali attorno a cui ruota il dibattito sulla divulgazione e diffusione delle conoscenze relative ai beni culturali.

I sistemi a scansione hanno, negli ultimi anni, sostituito il rilievo fotogrammetrico sia nel caso dell'architettura che in quello di oggetti più piccoli (particolari, statue, vasi, ecc.). Gli strumenti utilizzati per le scansioni tridimensionali sono comunemente chiamati laser scanner. Con questo nome si intendono sia i sistemi basati su triangolazione che quelli a tempo di volo: i primi sono utilizzati su oggetti di piccole dimensioni mentre i secondi sono impiegati per rilievi di architetture (o parti di città)o di porzioni di territorio (cave, frane, ecc.).
I principi di funzionamento degli scanner 3d a triangolazione rispetto a quelli a tempo di volo sono completamente diversi anche se il dato che da essi si deriva è tipo logicamente molto simile: una

nuvola di punti che descrive la superficie dell'oggetto rilevato. Semplificando si può considerare uno scanner 3D a tempo di volo un strumento assai simile ad una stazione totale automatizzata estremamente veloce nell'acquisizione delle osservazioni; lo scanner a triangolazione invece è molto vicino ai sistemi fotogrammetrici che si basano sul principio della triangolazione spaziale.
Infatti due camere digitali calibrate di cui è noto l'orientamento relativo e assoluto o un sensore d'immagine ed un emettitore di luce strutturata in posizione ed orientamento noti sono sostanzialmente equivalenti.
Tra gli operatori del rilievo si è verificato, dopo l'abbandono della fotogrammetria per i sistemi 3D, ad un ritorno verso i metodi fotogrammetrici; questo è legato all'evoluzione della fotogrammetria che ha trovato nuova linfa in due fattori: l'elevata potenza di calcolo a basso costo e strumenti di acquisizione di immagini digitali ad altissima risoluzione. Informatica ed elettronica hanno permesso la realizzazione di nuovi sistemi fotogrammetrici che, utilizzando i tradizionali principi operativi di misura, si propongono come alternativi ai sistemi a scansione.
Testimonianza di questa evoluzione (o solo tendenza) è la proposta sul mercato di prodotti che propongono la "scansione senza scanner": si tratta di sistemi fotogrammetrici digitali che sfruttando la autocorrelazione tra le immagini forniscono in uscita un set di punti distribuiti sull'oggetto (la nuvola di punti).
Questa sostanziale uniformità del metodo di rilievo (la triangolazione) tra fotogrammetria e scansione 3D a luce strutturata è il punto di partenza della ricerca, che vuole indagare la possibilità di utilizzare in modo alternativo i sistemi di rilievo fotogrammetrico digitale e sistemi scansione 3D a triangolazione nel caso di oggetti di piccole-medie dimensioni.
Si vogliono valutare da una parte le precisioni raggiungibili e dall'altra le condizioni operative che nel caso degli oggetti indicati possono essere determinanti nella scelta della strumentazione: si pensi per esempio ad oggetti a tutto tondo o che presentino sottosquadri o abbia collocazioni di difficile accesso.
Dopo la comparazione e la valutazione delle tecniche di acquisizione e dalla accuratezza dei dati ottenuti, verrà poi verificata la reale utilizzabilità dei dati per la realizzazione di modelli digitali degli oggetti in contesti e modalità differenti. Non è infatti scontato che dati densi ed estremamente accurati siano garanzia di modelli utili: altri parametri devono essere tenuti in considerazione come ad esempio la completezza, l'uniformità di distribuzione, la quantità (che si traduce in l'occupazione di memoria) la trasmettibilità ecc. Queste ultime caratteristiche sono legate sia alle caratteristiche dell'oggetto che all'uso del modello.
La ricerca si propone dunque due obiettivi:

- il primo è quello di confrontare, sperimentandoli sul campo, metodi, le tecniche e gli strumenti della fotogrammetria digitale e della scansione 3D, per l'acquisizioni dei dati necessari alla creazione di modelli digitali tridimensionali di oggetti di dimensione contenuta (ordine di grandezza 1mc). Le strumentazioni che si intendono mettere a confronto sono:
- i sistemi di scansione 3D ottici (triangolatori, conoscopia, luce strutturata, ecc.) e
- i sistemi fotogrammetrici digitali.

Il confronto riguarderà gli aspetti metrici (precisione e ripetibilità) e quelli applicativi (caratteristiche e praticità d'uso) in relazione a classi di oggetti. Il primo obiettivo essendo essenzialmente di ordine tecnico e si propone di affrontare problematiche proprie dei settori scientifici che si occupano di misura e di rappresentazione, in cui l'applicazione di strumenti hardware (acquisizione) e software (trattamento dei dati) ha un ruolo predominante.


HANDYSCAN di Creaform 3d


LS3D di Deltag


Scanprobe LT di Scansystems


LS3DE di FAE


Vivid VI-910 di Minolta

- il secondo è quello di individuare e studiare le possibilità di realizzare modelli tridimensionali con i dati rilevati e di valutare l'efficienza dei modelli digitali creati in relazione da una parte alla natura degli oggetti stessi, dall'altra allo scopo dalla necessità/volontà di ri-attualizzare e ri-utilizzare gli oggetti originali.

In questa fase, partendo da quanto precedentemente analizzato, si vuole affrontare il difficile rapporto tra virtuale e reale che attualmente è uno dei temi principali attorno a cui ruota il dibattito sulla divulgazione e diffusione delle conoscenze relative ai beni culturali.
Nella costruzione dei modelli digitali, da impiegarsi nella esplorazione e gestione virtuale degli oggetti, le modalità di acquisizione dei dati è una questione essenziale. Una attenta riflessione, basata su sperimentazioni e confronti fra tecniche e strumenti, è necessaria nell'economia scientifica e intellettuale dell'operazione di virtualizzazione.

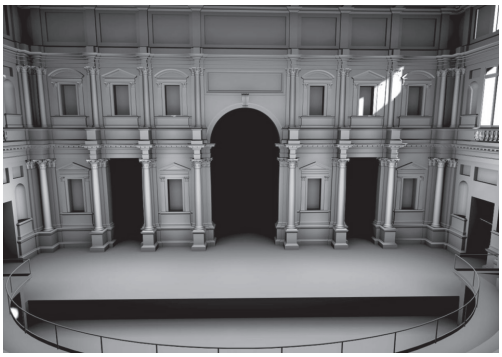




Fig.1 Teatro Olimpico di Vicenza di Andrea Palladio. *Fig.2* Esempio di modello digitale ottenuto da dati laser scanning e fotogrammetria digitale. Rilevo e rappresentazione eseguiti da SAT-SURVEY, collaudatore: prof. Francesco Guerra

Si vuole qui ribadire un concetto ben noto a coloro che si occupano di rilievo ovvero che ogni rilievo deve essere finalizzato, deve essere destinato a un preciso scopo.
Gli oggetti sui quali si vogliono applicare le tecniche di acquisizione e studiare le modalità di fruizione attraverso modelli digitali, hanno quale caratteristica comune la loro unicità che implica la necessità della loro conservazione. Questo comporta il più delle volte l'impossibilità di una loro fruizione che non sia quella museale.
Al fine compiere le sperimentazioni relative sia acquisizione che alla fruizione dei modelli digitali si sono individuati 4 tipologie di oggetti che, dal punto di vista della forma, presentano una grande finezza di dettaglio:
a) i modelli lignei di facciate di palazzi o chiese (p.e. il modello ligneo di Ca' Venier dei Leoni, sul Canal Grande a Venezia, progetto solo in parte realizzato e oggi sede del museo Guggenheim)
b) le matrici lignee delle xilografie (p.e. le tavole lignee della pianta prospettica del 1500 di Jacopo De Barbari),
c) i globi,
d) elementi architettonici di dettaglio come i capitelli classici.
Attualmente la sperimentazione è stata fatta sui globi, in particolare su uno dei globi di Vincenzo Coronelli conservato alla Biblioteca Marciana a Venezia.

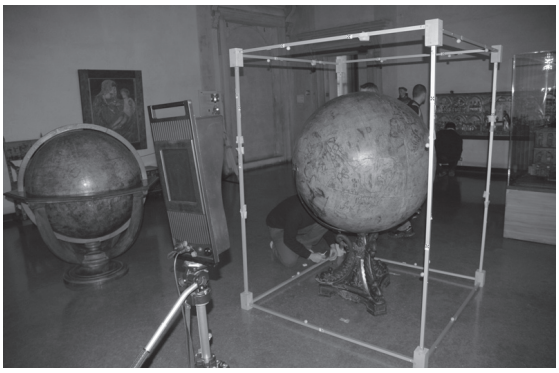
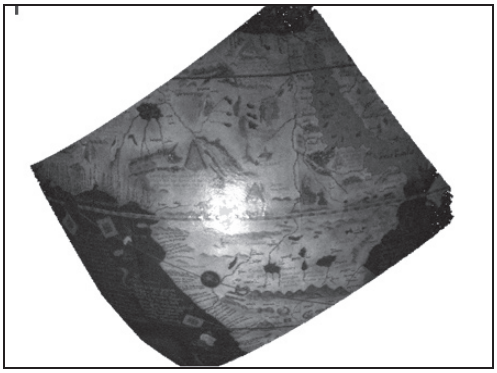



Fig.3 Acquisizione laser del globo di Coronelli e materializzazione del sistema di riferimento
Fig.4 Nuvola di punti con valore RGB

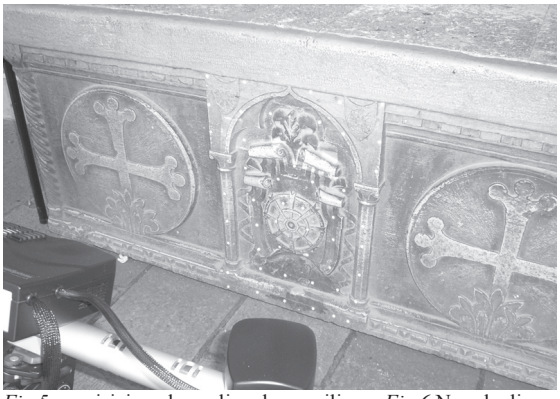



Fig.5 acquisizione laser di un basso rilievo; *Fig.6* Nuvola di punti rilevata con Scanprobe LT di Scansystems

Il raggiungimento del primo obbiettivo prevede l'organizzazione del lavoro in 5 fasi:

1. studio delle caratteristiche di vari sistemi di scansione 3D, reperimento di strumenti commerciali o prototipi, test di acquisizione 3D di oggetti campione pre-controllati metricamente e valutazione delle caratteristiche riscontrate. Si prevede l'utilizzo di oggetti calibrati che verranno scanditi con i vari scanner 3D che verranno messi a disposizione o presso i laboratori universitari o presso le aziende o gli enti che producono gli strumenti.
2. studio dei sistemi fotogrammetrici e organizzazione dei test come al punto precedente.
3. scansione 3D e rilievo fotogrammetrico degli oggetti individuati e valutazione comparata dei risultati ottenuti. I rilievi dovranno essere effettuati presso le sedi in cui gli oggetti sono conservati spostando la strumentazione. Questo comporterà anche una valutazione della praticità di utilizzo dei diversi sistemi di rilievo.
4. test di software di modellazione e individuazione di quelli più efficienti rispetto alle caratteristiche degli oggetti. Questo avverrà trattando uno stesso set di dati provenienti dal rilievo3d (sia fotogrammetrico che scanner) con diversi software, scritti per esigenze differenti, dal reverse engineering di pezzi meccanici, alla modellazione di corpi organici, alla cartografia, ecc.
5. costruzione del modelli 3D e verifica della sua accuratezza. Dopo aver individuato il software ottimale per le caratteristiche dell'oggetto si procede alla costruzione del modello 3D degli oggetti dai data set fotogrammetrico e scanner e si procede alla verifica comparata. La verifica del modello è un momento essenziale: infatti il modello digitale, per poter essere considerato una efficiente memoria della forma geometrica, deve essere correttamente operativo per le

applicazioni finali descritte nel paragrafo successivo. Questa definizione operativa dell'accuratezza pecca forse di un eccessivo relativismo che costringe ad attendere la fine della ricerca per poter valutare i risultati. In questa fase si intende invece verificare i dati di rilievo attraverso il confronto tra dimensione minima del dettaglio che si vuole rilevare e risoluzione spaziale della dei dati stessi.

Il secondo obbiettivo parte dal risultato del primo, ovvero dal modello digitale che rappresenta la memoria tridimensionale dell'oggetto che ne preserva la forma geometrica. Si tratta di individuare le possibili applicazioni del modello digitale che possono essere divise in due grandi classi:
- quelle che prevedono la realizzazione di copie fisiche dell'oggetto,
- quelle che invece utilizzano direttamente il modello digitale virtuale.

Rispetto alle tipologie degli oggetti precedentemente indicati, le applicazioni che si intendono sperimentare sono le seguenti:
a)per i modelli lignei delle facciate si intende organizzare un archivio esplorabile che consenta la fruizione da parte del pubblico via web. Si vuole poi confrontare il modello ligneo rilevato con i disegni di progetto corrispondenti. Si intende infine verificare la possibilità di utilizzare il modello digitale all'interno di city model che rappresentino una "città possibile" ad un tempo determinato, compiendo dunque delle simulazioni di configurazioni urbane immaginate. Una ulteriore ricaduta dello studio su questi modelli, è la possibilità di archiviare e diffondere le collezioni di plastici di architettura che spesso costituiscono un patrimonio di grande rilevanza dei musei di architettura ma che risultano difficilmente conservabili ed esponibili;
b) per le matrici lignee delle xilografie che non sono più utilizzabili per la stampa si intende sperimentare la costruzione di una copia fisica che possa poi essere utilizzata per una eventuale nuova tiratura. Si tratta in questo caso di una ri-attualizzazione delle matrici in cui la copia non è solo rappresentazione ma diventa operativa. Si può parlare di reverse engineering in quanto il modello digitale prodotto dalla scansione contiene tutte le deformazioni che le tavole originali presentano. Si pone perciò la necessità di modificare il modello digitale per ottenere la geometria della matrice propria dell'originale al momento della sua produzione. Infatti spesso le matrici lignee presentano delle deformazioni della superficie dalla planarità necessaria alla funzione di stampa. Tale planarità andrà recuperata modificando il modello digitale prima della sua hardcopy.





Fig.7 Sistema composta da handyscan e macchina digitale per l'acquisizione di geometria e immagine
Fig.8 Ortofoto di un singolo foglio del Libro dei Globi

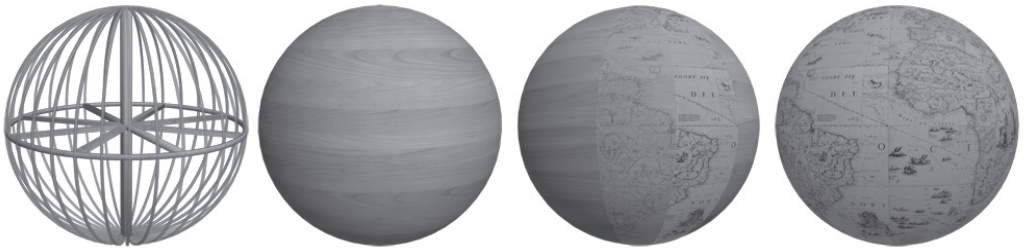


Fig 8 Modello virtuale del globo e mappatura con i fusi del Libro dei Globi

c) i globi sono rappresentazioni della terra poco studiati e poco conosciuti dal grande pubblico. Il problema risiede soprattutto nella difficoltà nella gestione e nella riproduzione di questi modelli della terra. Il rilievo geometrico mediante scansione 3D, correlato ad una rigorosa assunzione di immagini digitali in grado di descrivere un modo completo la superficie disegnata consentirà di creare due differenti prodotti digitali: le rappresentazioni piane e il modello 3d virtuale. Evidentemente le rappresentazioni piane sono ottenibili dall'applicazione delle consolidate proiezioni cartografiche alla "terra virtuale" costituita dal modello digitale del globo. Si intende però nella ricerca mantenere entrambe le rappresentazioni (2D e 3D) in rispetto alla tradizione della cartografia. Di particolare importanza è lo studio dei fusi di carta o di pergamena che costituiscono il rivestimento dei globi: il loro rilievo e il loro studio costituisce un altro esempio di riverse engineering applicato ai beni culturali. Si ricorda infine l'esistenza dei "libri dei globi" nei quali sono contenuti proprio i fusi di cui sopra e che potrebbero essere significativamente confrontati con quelli rilevati;
d) la rappresentazione dei capitelli sono una applicazione classica del rilievo architettonico e archeologico. L'applicazione si intende testare è la costruzione di serie di modelli 3D che permettano di evidenziare le filiazione dai modelli antichi, ovvero le derivazioni di alcuni capitelli rinascimentali da modelli classici. In questo caso si prevedono delle animazione che descrivano, attraverso il morphing tridimensionale e affinità.

L'esito della ricerca da poco iniziata consisterà in tre distinti prodotti:
1. Un insieme di norme e di procedure per:
    a.la conduzione del rilievo degli oggetti descritti individuando le tecniche più appropriate,
    b.la costruzione dei modelli digitali degli oggetti che costituiscono la memoria della loro forma.
2. Le applicazioni a quattro casi reali (uno per tipologia di oggetti) delle norme e procedure individuate realizzando i modelli e utilizzandoli operativamente secondo quanto descritto.
3. La divulgazione, attraverso pagine 3d web, dei modelli e delle procedure per ottenerli.

Bibliografia

Guerra F., Balletti C. (2006). Rilievo con laser scanner 3D:applicazioni per la conoscenza dei beni culturali. In: Crosilla F., Dequal S., Laser Scanner Terrestre. ISBN: 88-85137-19-9. UDINE: CISM (ITALY).
Guidi G., Beraldin J.A., Acquisizione 3D e modellazione poligonale. Dall'oggetto fisico al suo calco digitale, Milano, POIL.design, 2004. ISBN 88-87981-53-1

LA RICOSTRUZIONE INFORMATIVA E CARTOGRAFICA DI FERRARA DEL XV SECOLO

Marcello BALZANI (*), Gabriele TONELLI (*),
Marco FOLIN (**), Milena AGUZZOLI (***)

(*) Università degli Sudi di Ferrara, Centro di Ricerca D.I.A.P.Re.M. c/o Dipartimento di Architettura, Via Quartieri, 8
44100 FERRARA, tel. 0532 293601, fax 0532 293630, email marcello.balzani@unife.it
(**) Facoltà di Architettura di Genova, Stradone S. Agostino, 37 16123 GENOVA, tel. 010 209, fax 010 2095907,
email mafolin@libero.it
(***) Fondazione Centro Studi Leon Battista Alberti, Palazzo San Sebastiano largo XXIV Maggio, 11
46100 MANTOVA, tel. 0376 367183, fax 0376 323175, email milenaaguzzoli@libero.it

1. Riassunto

La ricerca storica nell'ambito dello studio delle città necessita di una metodologia applicativa legata a strumenti che permettono la gestione di elevate moli di dati e di un ambito cartografico nel quale rappresentare le informazioni reperite. Lo scopo finale è ottenere un quadro informativo e spaziale relativo alle principali tappe della trasformazione urbana di Ferrara nel XV secolo, fornendo un'informazione quanto più completa possibile sul mercato immobiliare, la qualità del patrimonio edilizio cittadino e l'identità dei protagonisti delle operazioni di rinnovamento architettonico e urbano. La creazione di una apposita struttura di dati e l'inserimento in un sistema GIS dei dati basati su una cartografia storica georeferenziata ha permesso di ottimizzare la ricerca, che si è articolata essenzialmente in tre fasi: ricerca e critica delle fonti, implementazione delle informazioni in un database strutturato in maniera specifica e dotato di una apposita interfaccia, inserimento dei dati cartografici e collegamento dei medesimi ai dati alfanumerici precedentemente inseriti. L'analisi ha creato una struttura dati complessa in grado di mettere in relazione informazioni legate alle fonti, altre legate all'ambito territoriale di riferimento (il lotto di terreno su cui insistono unità immobiliari edificate o meno), ed infine notizie riguardanti i soggetti attori della documentazione. È stato realizzato un sistema relazionale di 22 entità (tabelle), implementate in un database, successivamente è stata creata una interfaccia per facilitare l'inserimento dei dati e la verifica delle informazioni. L'inserimento nel GIS, con l'ausilio di una pianta di fine '800 georeferenziata sul catasto urbano attuale, delle informazioni desunte dalle fonti si è rivelata una operazione assai delicata, in quanto le notizie relative alla localizzazione degli immobili non sono sempre precise e devono essere congruenti con le altre acquisite. I risultati sono stati positivi: nonostante la quantità dei documenti da analizzare sia accresciuta enormemente rispetto alle ipotesi iniziali, il sistema ha consentito di ricostruire il tessuto urbano della città estense nei suoi molteplici aspetti, da quelli architettonici a quelli economici-sociali e di offrire un quadro comparabile con altre realtà urbane coeve. Inoltre la visualizzazione cartografica aiuta alla comprensione dei fenomeni, che il solo dato cartaceo è insufficiente a descrivere.

Abstract

This paper deals in the transformation of urban tissue and topographic distribution of urban society within the town of Ferrara from the end of the Middle Ages to the beginning of early Modern times. This research developed through a collecting of several thousand of data from unpublished sources, basically financial, fiscal and notarial documents. The changing of urban face has been investigated in a space-temporal perspective: the project aims to reconstruct the evolution of the city's historical

environment and it integrates historical research and Geographic Information System. As it is possible to locate the distribution of people, activities and buildings: that can help disclose the multiple aspects of urban transformation and have new options to investigate Ferrara during the Renaissance.

1. Introduzione

Ferrara, città di fondazione bizantina sorta sulla sponda sinistra dell'antico letto del Po, presenta una struttura insediativa che dalla metà del XV secolo si è conservata essenzialmente inalterata sino alla seconda metà dell'Ottocento. Sede di corte e capitale di uno dei maggiori Stati del tempo, offre un campo d'osservazione assolutamente privilegiato sia per la forte continuità che caratterizza il suo tessuto urbano, sia per la straordinaria ricchezza della documentazione che la riguarda. Nella storiografia estense non mancano eccellenti ricerche attente da un lato a tematiche politico-istituzionali e dall'altro agli aspetti culturali-artistici, tuttavia ancora poco studiato è l'intreccio tra le dinamiche sociali e i processi di trasformazione urbana nella loro totalità. A partire dalla metà del Quattrocento la città estense si espande e incorpora ampie zone suburbane, nell'area meridionale con la cosiddetta *addizione di Borso* e a nord con l'addizione erculea. Le operazioni di ampliamento e di rinnovamento urbano sono state oggetto per lo più di studi settoriali che hanno privilegiato l'analisi storico-architettonica dei singoli edifici: ancora poca luce è stata fatta sulla cronologia degli interventi, sull'esatta collocazione dei lotti di proprietà ducale, sulle modalità con cui essi erano concessi ai privati cittadini e sulle dinamiche di insediamento nelle nuove aree. L'obiettivo della ricerca consiste nel ricostruire il tessuto urbano nella sua complessità e nel restituire un quadro d'insieme delle dinamiche - in cui giocano un ruolo di primo piano i progetti e le scelte di governo urbano di mano ducale - che conducono alla modificazione della configurazione territoriale di Ferrara nella prima età moderna. Per ricostruire la fisionomia della città e identificare le stratificazioni storiche del tessuto edilizio ci si è serviti di un ampio spettro di fonti diverse (finanziarie, fiscali, notarili, ecclesiastiche) che hanno consentito di analizzare l'articolarsi delle relazioni sociali e ottenere un quadro completo della distribuzione topografica in determinate aree delle attività di mestiere e del patrimonio immobiliare di proprietà ducale, ecclesiastica e privata. In questa prospettiva l'utilizzo di un sistema informativo geografico è stato uno strumento insostituibile per l'analisi degli spazi urbani che ha permesso, assumendo scansioni cronologiche diverse in funzione alle problematiche affrontate, di ottenere una documentata conoscenza della città. Il sistema elaborato offre innovativi apporti alla ricerca storica sulla città estense attraverso la documentazione e rappresentazione delle modificazioni del territorio nel tempo, della consistenza dell'edilizia residenziale privata, delle attività produttive e delle infrastrutture.

2. Le fonti

Il lavoro è stato condotto attraverso lo spoglio sistematico di una ampia serie di fonti inedite conservate negli Archivi di Stato di Modena e Ferrara: pur non possedendo fonti catastali, la copiosa mole di documenti fiscali e finanziari prodotti dalla Camera Ducale ha consentito di ottenere valide risposte sulla gestione del patrimonio immobiliare dei duchi d'Este e sull'uso e le funzioni delle diverse tipologie edilizie. Tra le fonti camerali, i *Catastri delle investiture* (in cui si riportano le concessioni feudali dei beni di proprietà ducale), sono stati fino ad oggi studiati prevalentemente dal punto di vista politico-istituzionale soprattutto per l'età medievale, mentre si sono rivelati una fonte preziosa anche per la storia della città. La serie si compone di 45 registri compilati in vari periodi, dalla seconda metà del secolo XII alla fine del XVI, tra cui ben 32 sono relativi al XV secolo. Ogni investitura riporta la data e la durata della concessione, alcuni dati anagrafici del beneficiario (con la qualifica sociale o professionale, la contrada di residenza e la provenienza nel caso si tratti di un forestiero), la descrizione dell'immobile con le relative caratteristiche tipologiche o nel caso di terreni l'estensione e il tipo di coltura, le clausole (*rinnovazione*, alienabilità, impegno *ad meliorandum*) che variano secondo la tipologia del contratto e il canone annuale da corrispondere alla Camera. Solo raramente vi troviamo la denominazione della strada in cui si trovano le proprietà concesse, tuttavia tramite le indicazioni dei confini si

riescono a definire le logiche di posizionamento spaziale. In questo modo, riunendo tutte le informazioni come in un *puzzle*, si è riusciti nella maggior parte dei casi a definire la posizione dell'edificio nell'isolato con una buona percentuale di probabilità. L'incrocio con i dati emersi dai rogiti dei *Notai e Cancellieri camerali ferraresi* ha permesso di verificare e integrare le informazioni tratte dai registri dei *Catastri*. Ci si è inoltre serviti dell'*Estimo dei Borghi*: si tratta di un catasto parcellare che comprende i terreni situati nella fascia suburbana di Ferrara e che riporta il nome del capofamiglia, la qualifica in relazione di possesso con l'oggetto di rilevamento, la specificazione della qualità del terreno, del tipo di coltura, dei confini e le dimensioni. In particolare ci si è soffermati sull'analisi delle proprietà nel borgo di S. Guglielmo, area compresa tra la città medievale e il Barco che, con l'addizione di Ercole I d'Este, entra a far parte della città e in cui sorgono per iniziativa ducale i più importanti palazzi nobiliari. Per quanto riguarda l'analisi delle proprietà private, la serie dei *Registri delle gabelle* comprende 11 buste relative al Quattrocento e riporta anno per anno la registrazione delle imposte sulla trasmissione di beni mobili e immobili. Dalla data e dal nome del notaio è possibile risalire ai rogiti originari, più prodighi di dettagli delle fonti finanziarie. Le dimensioni dell'archivio notarile ferrarese non consentono di procedere con uno spoglio sistematico tuttavia, attraverso sondaggi mirati compiuti su specifici atti quali compravendite, affitti, donazioni, testamenti e doti - rogati in aree e momenti di particolare interesse -, è possibile analizzare le relazioni tra i contraenti, ricomporre assetti patrimoniali di lunga durata e identificare i nuclei edilizi nel tessuto urbano. Infine, nell'Archivio Storico Diocesano di Ferrara, il fondo *Mensa episcopale* offre un valido aiuto per comprendere la gestione del patrimonio terriero e immobiliare di proprietà del vescovo e i rapporti tra potere civile e potere ecclesiastico. Le fonti iconografiche di cui ci si può avvalere sono successive al periodo in esame: la prima pianta della città in proiezione ortogonale risale alla fine del Cinquecento, in mancanza dunque di una cartografia coeva geometricamente attendibile, ci si è serviti di una carta topografica di fine Ottocento. Sulla base del *Compendio di tutte le case, palazzi e conventi e strade di Ferrara* - una registrazione fiscale del 1597- l'ingegnere Filippo Borgatti realizzò una *Pianta di Ferrara* particolarmente interessante poiché illustra la conformazione e la struttura della città alla vigilia della Devoluzione di Ferrara alla Santa Sede.

3. Organizzazione del lavoro

È stata necessaria una organizzazione specifica per il reperimento dei dati, il loro inserimento e la loro gestione – operazioni complesse che devono potersi integrare in modo funzionale per evitare errori e perdite di tempo. Il primo passo è stato reperire le informazioni (documentarie e cartografiche) sulla base di una lunga e sistematica ricerca d'archivio, durata diversi mesi e tuttora in atto. Le informazioni ottenute sono state inserite in database relazionale e contemporaneamente collegate alle entità spaziali attraverso una schematizzazione puntuale o areale, in quanto un collegamento a posteriori avrebbe comportato una maggiore difficoltà nell'individuazione delle aree di riferimento. Essenziale è stato l'utilizzo della carta del Borgatti: questa è stata scansita e georiferita nelle coordinate della base cartografica. A partire da questi dati inseriti sono state realizzate le query alfanumeriche e cartografiche per ottenere una serie di risposte utili ai fini dell'elaborazione di un modello della Ferrara del XV secolo.

4. Creazione della base di dati ed inserimento delle informazioni

Le informazioni ottenute dal vaglio delle fonti sono confluite in un database relazionale associato ad una cartografia di riferimento: previsti i tipi di analisi a cui sottoporre la documentazione, nella costruzione dello schema Entità-Relazioni si è cercato di conservare i caratteri specifici di ciascuna fonte e di preservare la struttura originale delle informazioni selezionate. Il risultato è un modello che si articola su tre grandi aggregazioni di dati reciprocamente interrelate: gli Eventi, il Fondo e le Persone. Ogni evento accaduto in una data puntuale può essere attestato da una o più fonti, avere per attori più persone e per oggetto diversi fondi (ovvero i lotti su cui si trovano determinate proprietà). Nelle entità "Eventi", "Fonte" e "Fonte_persone" si sono inseriti attributi relativi alle

coordinate storico-temporali (giorno, mese, anno), alla tipologia dell'avvenimento (vendita, affitto, donazione, eredità, registrazione fiscale), alle clausole se previste (alienabilità, rinnovo, impegno a costruire immobili o a migliorare terreni), al prezzo (in caso di vendita) e al canone (in natura o in denaro pagato alla Camera Ducale se si tratta di investiture). La tabella di collegamento "Eventi_fondo" mette in relazione gli Eventi e i Fondi. Nell'entità "Fondo" sono inseriti gli attributi relativi alla sua localizzazione, al grado di affidabilità della rappresentazione nella cartografia, l'informazione sulla tipologia, sul valore e sull'estensione. Il modello su cui ci si basa è che il fondo è costituito da unità immobiliari e/o terreni agricoli: queste sono memorizzate in due entità "Unita_immobiliari" e "Non_edificato", che riportano alcuni dati generali sulla tipologia, il materiale, i piani, lo stato. I caratteri specifici e peculiari propri di un oggetto (ad es. una loggia, un orto, un pozzo, il tipo di coltura) confluiscono nelle schede "Peculiarita_unita_immobiliari" e "Peculiarita_non_edificato". Proprietà immobiliari e agricole vedono coinvolte in un determinato evento una o più persone con specifici ruoli: le tabelle "Persone", "Relazioni", "Residenza" e "Qualifica" contengono le informazioni specifiche. Il problema temporale è stato risolto inserendo i campi "Anno_da", "Anno_a" e "Affidabilita_anno" che permettono di seguire nel corso del tempo da un lato i mutamenti dei ruoli ricoperti da una persona in un evento e l'accumularsi delle residenze e dei mestieri durante la vita, e dall'altro le trasformazioni delle proprietà e dei relativi confini. Visto l'articolarsi del modello, che si traduce operativamente in una elevata complessità di inserimento dei dati, è stato creato un programma che permette agevolmente di inserire i dati alfanumerici.

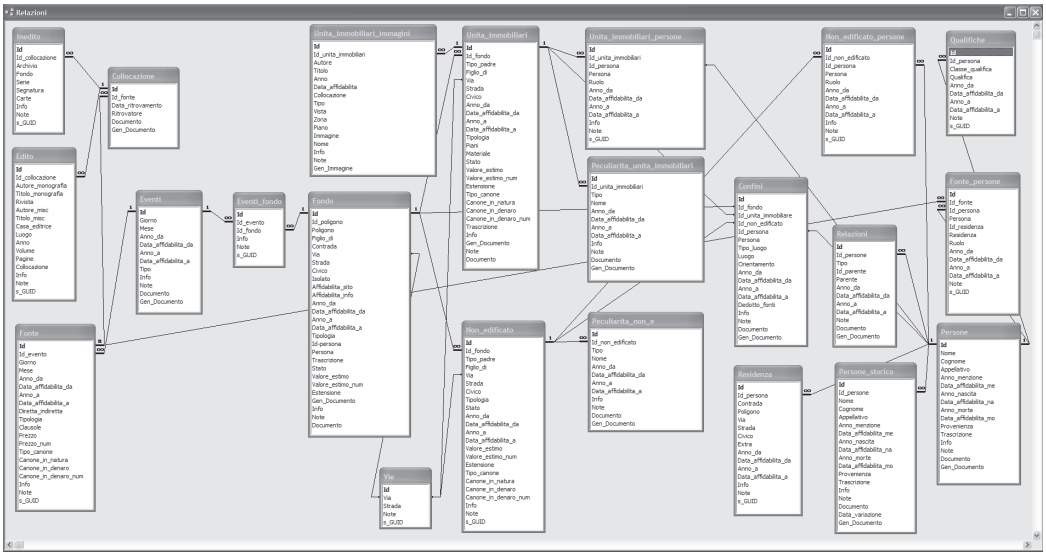


Figura 1: Lo schema Entità-Relazioni

5. GIS: dati di base

Per ricostruire la città del XV secolo è stato necessario avere una base cartografica coerente e geometricamente corretta. Sono stati acquisiti i dati vettoriali dal Comune di Ferrara, come le strade, le attuali particelle catastali, gli edifici restituiti per via fotogrammetrica, i numeri civici. Un ulteriore punto di riferimento di grande utilità è stata la *Pianta di Ferrara nel 1597* di Borgatti. Questa è stata scansita e georiferita rispetto ai dati fotogrammetrici: per ottenere una precisione migliore, in quanto la carta ha subito deformazioni rilevanti ed ha una proiezione indefinita, è stata georeferenziata in 4 parti diverse. Come sistema di riferimento è stato utilizzato UTM*, in uso in tutti i comuni della Regione Emilia Romagna.

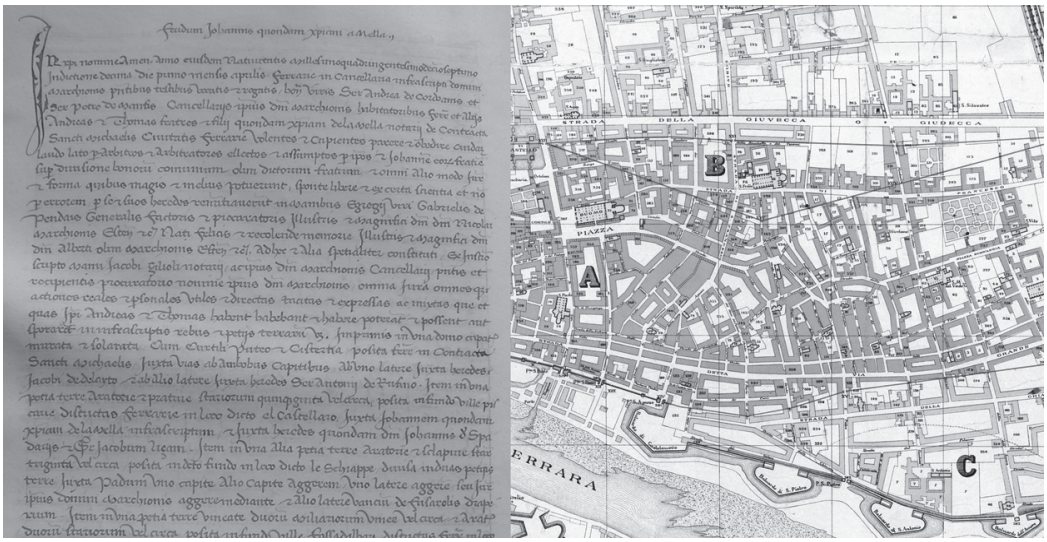


Figura 2: Fonti storiche e fonti iconografiche: la Camera Ducale concede in feudo una casa a Giovanni dalla Mella, 1417 (ASMo, CDE, Catastri delle investiture, Cat. R, cc. 22v-23r) e F. Borgatti, "Pianta di Ferrara nel 1597", 1895

6. GIS: struttura dati, collegamento informazioni ed analisi

Attraverso lo spoglio sistematico dei documenti di archivio e l'utilizzazione di documenti cartografici si è finora delineato un profilo completo della struttura urbana di alcune aree significative della città estense. Per il solo Polesine di S. Antonio - isola extra urbana divisa dalla città da un largo canale - che a partire dal 1438 viene cinta da una cerchia di mura e inglobata in città, sono state finora reperite e inserite nella banca dati più di 1000 informazioni. Ci si limita qui a riportare solo alcune delle ipotesi in fase di verifica: possiamo riconoscere le strade in cui si concentrano determinati mestieri? Quali persone nel corso della vita cambiano contrada di residenza, mestiere, tipo di immobile? Si possono individuare delle strategie programmatiche che permettono ai duchi di condizionare il mercato immobiliare? Queste logiche cambiano nel corso del tempo? Con quali contratti, a chi e dove sono concessi immobili e terreni di proprietà ducale? Come varia il costo medio degli immobili nel corso del secolo?

Il collegamento dei dati documentali alla cartografia è stato condotto per avvicinamenti progressivi: sono stati individuati sulla base cartografica di riferimento il sistema delle contrade e delle strade. Successivamente si sono identificati edifici certi, come chiese e palazzi nobiliari, per la maggior parte ancora esistenti e con una collocazione che si ritiene sostanzialmente stabile nel tempo, tramite poligoni. Più complesso è stato localizzare nello spazio urbano case, botteghe, casali, terreni che nel corso degli anni hanno mutato più volte la loro fisionomia. Si è pertanto delimitato in primo luogo l'isolato, poi si è collocato il fondo ed infine l'immobile e/o il terreno: in questo caso la rappresentazione consiste in una serie di entità puntuali visualizzabili mediante differenti tematizzazioni. Nonostante non sia stato sempre possibile riconoscere l'esatta particella catastale di riferimento, le informazioni raccolte ed elaborate ci hanno consentito di delimitare delle aree attendibili in cui si trovano sia proprietà ducali, sia proprietà private: ad esempio si è individuata la collocazione dei terreni concessi a personaggi di spicco della corte durante l'operazione di lottizzazione dell'antico fossato cittadino iniziata a partire dalla metà del Quattrocento e degli immobili appartenuti all'architetto ducale Biagio Rossetti. In alcuni casi inoltre siamo riusciti a trasformare i punti, definiti come entità con bassa precisione, in entità poligonali ovvero entità con alta precisione: le prime informazioni di carattere generale si sono arricchite nel corso della ricerca

di dati che hanno permesso di seguire i vari passaggi di proprietà del fondo di riferimento, come nel caso di Palazzo Costabili, e infine di individuarli con precisione sulla particella. Sono emerse inoltre le diversità di condizione e di tipologie abitative, la stratificazione sociale dei residenti e la consistenza dei beni fondiari concessi dai duchi d'Este ai cittadini ferraresi.

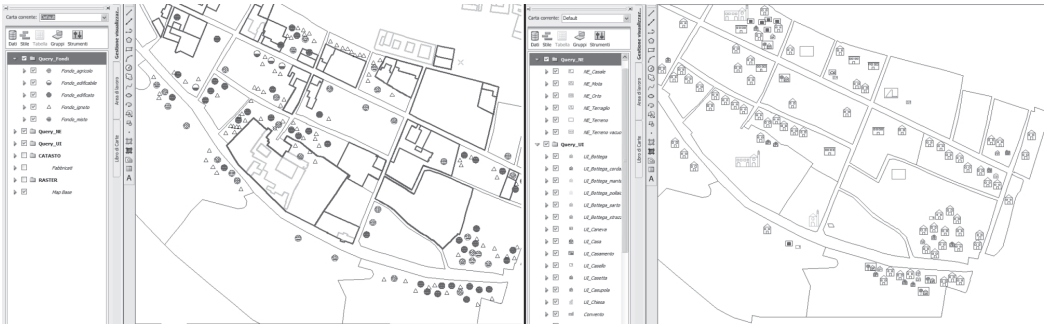


Figura 3: Esempi di ricostruzione cartografica di un quartiere di studio: a sinistra la rappresentazione dei fondi, a destra le unità immobiliari

7. Conclusioni

Il lavoro non è ancora concluso, ma i risultati ottenuti in alcune aree di studio indicano che la metodologia applicata si è rivelata più che soddisfacente in funzione degli obiettivi enunciati. Gli ambiti di maggiore complessità rimangono la necessità di una gestione intelligente di una massa di dati eterogenei che debbono essere *compresi* ed inseriti nel loro contesto e la dimensione temporale, in quanto gli strumenti non contengono sistemi di gestione di questo parametro.

Bibliografia

Folin M. (a cura di) (2006), *Sistole/Diastole. Episodi di trasformazione urbana nell'Italia delle città*, Istituto Veneto di Scienze Lettere ed Arti, Venezia

Di Giulio R., Balzani M., Coccagna M., Prearo G., Tonelli G. (2006), *Il progetto Villas: un sistema informativo integrato territoriale ed architettonico*, Atti della 10ª Conferenza Nazionale ASITA, vol. 1, pp. 891-896

Tonelli G. (2006), "Il SIT come sistema integrato delle informazioni territoriali*",* Paesaggio Urbano, 5: 52-53

AA.VV. (2003), *L'Informazione Territoriale e la Dimensione Tempo*, Atti della 7ª Conferenza Nazionale ASITA, Artestampa, Verona

Molteni E. (a cura di) (2001), *Estimi e catasticazioni descrittive, cartografia storica, innovazioni catalografiche. Metodologie di rilevamento e di elaborazione in funzione della conoscenza e dell'intervento nell'ambiente urbano. Risultati dell'attività di ricerca*, Regione del Veneto-Università Ca' Foscari, Venezia

Folin M. (2001), *Rinascimento estense. Politica, cultura, istituzioni di un antico Stato italiano*, Laterza, Roma-Bari

Tuohy T.J. (1996), *Herculean Ferrara. Ercole d'Este and the Invention of a Ducal Capital*, Cambridge University Press, Cambridge

Franceschini A. (1993-1997), *Artisti a Ferrara in età umanistica e rinascimentale. Testimonianze archivistiche*, Corbo, Ferrara

Zevi B. (1960), *Biagio Rossetti architetto ferrarese, il primo urbanista moderno*, Einaudi, Torino

Bocchi F. (1976), *Uomini e terra nei borghi ferraresi: il catasto parcellare del 1494*, Ferrariae Decus, Ferrara

Borgatti F. (1895), "La pianta di Ferrara nel 1597", in *Atti e Memorie della Deputazione provinciale ferrarese di Storia Patria*, s. I, VII, fasc. 1

STUDIO DI SINTESI DELLA CRITICITÀ GEOMORFOLOGICA E GEOTECNICA DELLA PROVINCIA DI ROMA

Luca BALZERANO (*), Massimo FABIANI (**), Mario GIANFELICE (***)

(*) Titolare di borsa di studio presso la Provincia di Roma, Assessorato alle Politiche dell'Agricoltura, Dip. V, Servizio 4° – Geologico, Viale di Villa Pamphili, 84, 00152, Roma, tel. 3285920459, e-mail lucageo@inwind.it
(**) Provincia di Roma, Assessorato alle Politiche dell'Agricoltura, Dip. V, Servizio 4° – Geologico, Viale di Villa Pamphili, 84, 00152, Roma, tel. 0667664363, fax 0667664305, e-mail m.fabiani@provincia.roma.it
(***)Provincia di Roma, Assessorato alle Politiche del Territorio e Tutela Ambientale, Dip. VI, Servizio 3° – Sistema Informativo Geografico, Via Luigi Pianciani, 22, 00185, Roma, tel. 0667666502, fax 0667666421, e-mail m.gianfelice@provincia.roma.it

Riassunto

Il presente studio ha il fine di testare le potenzialità dei G.I.S. nella generazione di carte digitali che descrivano, in relazione alla realizzazione di determinati interventi o manufatti, la criticità del territorio della Provincia di Roma in funzione del rischio geomorfologico e geotecnico.
A tal fine, è stata effettuata una prima selezione dei livelli tematici digitali ritenuti basilari per la valutazione del suddetto rischio. Successivamente, l'obiettivo ultimo è stato raggiunto tramite la produzione, attraverso tecniche di analisi spaziale basate sulle proprietà dei software G.I.S., di un livello informativo finale, risultato della sintesi ponderata dei livelli tematici presi in esame nonché delle relazioni tra essi intercorrenti.
I programmi futuri mirano ad ulteriori miglioramenti della metodologia qui presentata, in funzione del crescente afflusso di dati geografici (nonché dell'aumento della loro qualità) presso i servizi della Provincia di Roma.

Abstract

The purpose of this study is mainly to test G.I.S. capabilities to produce digital maps which describe, in regard of building's construction and renovation works, the criticality of the territory comprised in the Province of Rome depending on geomorphologic and geotechnical hazard.
In order to this, several digital base layers, fundamental to the evaluation of this kind of hazard, have been selected in the early stage. Subsequently, the ultimate purpose has been reached through the creation, using G.I.S. based spatial analysis techniques, of a final information layer, built up by the weighted synthesis of checked out base layers and the existing relationships between them.
Future plans aim to improve the above mentioned methodology, consequently to the increasing amount of geographical data (which quality is also growing) processed by several services of the Province of Rome.

Introduzione

La banca dati territoriale della Provincia di Roma una grande quantità di mappe digitali di differente provenienza. Parte di tale cartografia è consultabile in rete tramite un *webgis*.
Tali dati costituiscono una solida base per la produzione di una documentazione (cartografica e non) sempre più completa ed accurata in ambiti come, ad esempio, quello rappresentato dalla Delibera della Giunta Regionale del Lazio 2649/99 riguardante le indagini geologiche e vegetazionali, le cui linee guida richiedono elaborazioni che possono essere eseguite a partire dai dati sopra citati e dall'utilizzo dei sistemi informativi geografici. In particolare, l'uso del G.I.S. risulta assai efficiente per la "valutazione dei rischi ed idoneità territoriale" (punto 7 delle linee guida). La criticità

geomorfologica e geotecnica del territorio costituisce un elemento fondamentale per tale valutazione. Stimare tale parametro significa quindi discostarsi dalla classica valutazione della suscettibilità da frana, poiché questa viene normalmente intesa come la previsione spaziale della probabilità che un'area frani (Canuti, Casagli, 1996). Ai fini delle suddette linee guida sorge piuttosto la necessità di indicare, in base ai dati a disposizione, aree all'interno delle quali si rendano necessarie determinate verifiche al fine di garantire stabilità e sicurezza per i manufatti e gli interventi (senza naturalmente escludere la possibilità di definire aree non idonee).
Lo scopo di questo lavoro è quello di utilizzare alcuni dei livelli tematici a disposizione per uno studio sperimentale qualitativo o semiquantitativo della criticità di una porzione del territorio della Provincia di Roma tramite l'utilizzo di tecniche di analisi spaziale, con l'intento di realizzare un sistema di facile aggiornamento ed in grado di generare mappe che possano essere in futuro inserite in un *webgis* simile a quelli già attivi presso l'Amministrazione.

Selezione e parametrizzazione dei dati
Individuati gli obiettivi, si è scelto di operare su un area ridotta rispetto all'estensione dell'intero territorio provinciale, innanzitutto poichè, anche se ciò appare intuitivo, una minore mole di dati permette elaborazioni più rapide; inoltre, si è rivelato necessario selezionare un'area che fosse coperta per intero dai livelli tematici presi in esame onde evitare valori sovrastimati o sottostimati nel *layer* finale (Mari *et al.*, 2007).
La base topografica utilizzata è la Carta Tecnica Regionale (C.T.R.) alla scala 1:10.000; in particolare, la scelta è ricaduta sulle 16 C.T.R. del foglio 375, per un'estensione totale di circa 615 km^2.
Nella prima fase di selezione dei dati, sono stati individuati diversi e numerosi livelli tematici; ad un successivo vaglio, sono stati giudicati maggiormente significativi i seguenti livelli:

- litologia di superficie
- pendenza
- uso del suolo
- permeabilità
- pericolosità sismica (espressa come accelerazione del suolo)

Tali livelli (o *layer* tematici) sono stati generati a partire dai dati (sia di tipo *raster* che vettoriale) in possesso del Servizio Geologico e del Servizio G.I.S. della Provincia di Roma. Poiché la metodologia messa a punto prevede l'utilizzo di tecniche di analisi spaziale, è stato necessario convertire i livelli vettoriali in formato *raster*. A tal fine, a monte delle operazioni di analisi spaziale, è stato assegnato un valore di criticità agli elementi presenti all'interno di ciascun *layer* vettoriale (aggiungendo un apposito campo nelle tabelle degli attributi). Il *range* dei valori costituisce di fatto il "peso" del livello parametrizzato. Quello appena descritto costituisce un passaggio assai delicato, poiché la carenza di metainformazioni geologiche, fondamentali per la comprensione del processo di generazione e per una stima dei limiti di affidabilità del dato stesso (Balestro *et al.*, 2007), ha introdotto una certa arbitrarietà nell'assegnazione della criticità. Di seguito viene brevemente descritta la creazione dei dati di *input*.
Litologia di superficie. Tale tematismo è stato realizzato a partire dal livello vettoriale delle litologie superficiali contenuto nella banca dati territoriali del Servizio Geologico. I valori di criticità rispecchiano la propensione al dissesto geomorfologico e/o geotecnico di ciascuna litologia. Si è inoltre considerata la geologia come il livello che maggiormente influenza la possibilità di eventuali dissesti o, più in generale, di problemi nella realizzazione degli interventi. Di conseguenza, è stata redatta una scala delle criticità che va da 1 a 9 (*range* massimo di criticità utilizzato).
Uso del suolo. Tale livello è stato elaborato a partire dai dati della Carta dell'Uso del Suolo della Regione Lazio (CUS), prodotta nell'ambito del progetto Corine Land Cover tramite la fotointerpretazione di ortofoto realizzate nel biennio 1998-99.
Le aree già urbanizzate e quelle boscate riportano criticità più basse, in quanto ritenute più stabili dal punto di vista geomorfologico e geotecnico, mentre aree coltivate e praterie, più instabili,

meritano valori di criticità più elevati. Inoltre, sono altresì stati assegnati valori elevati alle diverse tipologie di aree umide poiché ritenute a priori poco adatte alla realizzazione di manufatti. Il *range* dei valori di criticità per l'uso del suolo va da 1 a 5.
Sismicità. Le classi di sismicità utilizzate si basano sui dati di accelerazione del suolo contenuti nella "mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale", prodotta nel 2004 dal INGV e facente riferimento all'Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n. 3519, nonché sulla zonazione indicata nella medesima ordinanza.
Il livello *raster* è stato prodotto a partire da un set di punti ricavati dal livello vettoriale delle isolinee di accelerazione sismica fornito dal Servizio G.I.S. della Provincia di Roma. La conversione è stata eseguita tramite un algoritmo di interpolazione (IDW).
Nell'area di studio sono presenti soltanto due classi di sismicità, alle quali sono stati attribuiti due valori differenti di criticità (2 e 3).
Permeabilità. Si tratta della versione digitalizzata della Carta Idrogeologica (Regione Orientale - Foglio II) della Provincia di Roma (Ventriglia, 1990). Il *raster* è stato creato in base alle classi di permeabilità, indipendentemente dalla tipologia (porosità o discontinuità); i valori di criticità invece, come se vedrà più avanti, sono stati assegnati in una fase successiva, e variano tra 1 e 6.
Pendenza. Per la definizione della pendenza e delle relative classi di criticità, si è reso necessario l'utilizzo di un DEM con maglia di 20 m (presente nella banca dati territoriali del Servizio Geologico), sul quale è stata effettuata un'operazione di calcolo delle pendenze (*slope*). In questo caso le classi di pendenza sono state attribuite attraverso una riclassificazione (*reclassify*) dei valori del *raster* di partenza, ottenendo un *range* di criticità tra 1 e 4.

Metodologia di valutazione della criticità totale
Successivamente all'assegnazione delle criticità, si è ritenuta la criticità totale valutabile attraverso un'operazione di somma condizionata dei valori di criticità di ciascun livello.
In particolare, si è considerata la possibilità che la criticità di un livello potesse influenzare la quella di altri livelli: alla luce di tale ragionamento, sono state stabilite le interrelazioni schematizzate nella fig. 1.

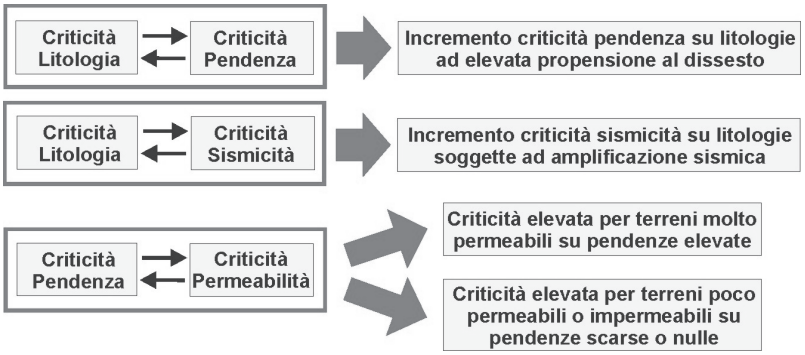


Figura 1 – Interrelazioni definite per la determinazione della criticità geotecnica/geomorfologica

Gli strumenti utilizzati per questo tipo di analisi spaziale sono costituiti da una serie di funzioni concepite *ad hoc* (elaborate nel linguaggio *Map Algebra* in ArcGIS) contenenti somme e somme condizionate tra *raster* (di fatto soltanto il livello dell'uso del suolo è stato considerato non dipendente ne' influente su altri livelli).
Si è quindi ottenuto come risultato un livello raster nel quale il valore di ogni pixel descrive il livello di criticità elaborato tramite i processi sopra descritti.

Oltre alla valutazione della criticità totale, si è proceduto a stimare il contributo (espresso in percentuale) che ogni *layer* apporta al valore della criticità totale. A tale proposito, si è ovviamente tenuto conto delle interrelazioni presenti tra i livelli, calcolando i contributi percentuali tramite l'utilizzo in linguaggio *Map Algebra* delle funzioni precedentemente elaborate o di parti di esse.

***Output* finale**

L'obiettivo finale di generare un unico *layer*, che contenesse sia le informazioni relative alla criticità che al contributo di ogni singolo *layer*, ha imposto la produzione di un *layer* finale di tipo vettoriale. Tale scelta appare inoltre vantaggiosa poiché, nel momento in cui viene interrogato un punto del livello finale, si ottiene non solo il valore di criticità (ed i relativi contributi) del punto interrogato, bensì i valori del poligono (quindi dell'area) nel quale il punto è inserito.

Si è provveduto quindi a rendere vettoriali i livelli della criticità totale e dei contributi (tramite lo strumento *raster to polygon* in ArcGIS).

La generazione del *layer* finale è stata effettuata utilizzando la funzione di unione (*union* in ArcGIS) sui diversi livelli vettorializzati, in modo da ottenere un livello unico contenente il campo del valore della criticità totale nonché i campi relativi ai contributi dovuti a ciascun tematismo. In questo modo, anche utilizzando esclusivamente il livello unico finale, è possibile visualizzare tutte le informazioni necessarie con un'unica interrogazione.

La fig. 2 mostra il risultato ottenuto, che andrà a costituire parte delle informazioni visualizzabile dall'utente ad ogni interrogazione del sistema (si consideri tuttavia che i valori di criticità verranno raggruppati in classi di idoneità territoriale).

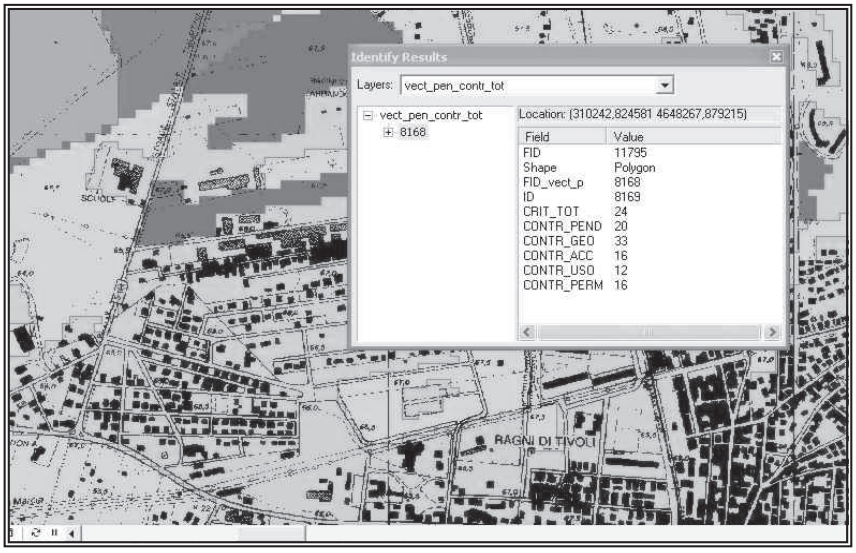


Figura 2 – Visualizzazione dei dati da interrogazione dell'output finale

Modello di elaborazione dei dati

Come è possibile intuire, l'aggiornamento del sistema, tramite la modifica di uno dei livelli tematici utilizzati come *input* o l'aggiunta tra questi di un nuovo livello, comporta la necessità di ripetere il procedimento coinvolgendo nuovamente tutti i livelli. Per ridurre drasticamente il tempo di aggiornamento e di ripetizione del processo, è stato messo a punto un modello di elaborazione dei dati attraverso l'uso del *Model Builder* di ArcGIS, visibile nella figura 3. Tale modello integra tutte

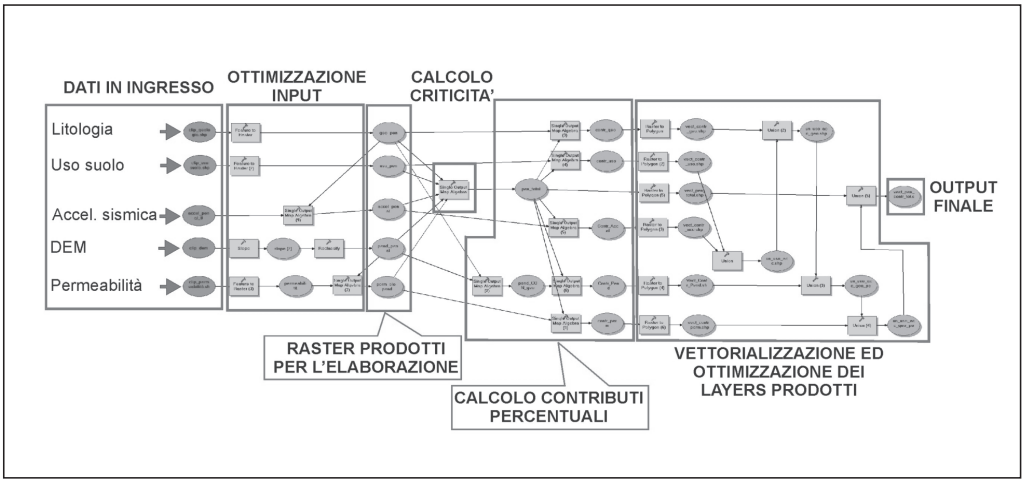


Figura 3 – Schema completo di calcolo della criticità realizzato tramite Model Builder

le procedure descritte in precedenza ad eccezione dell'assegnazione dei valori di criticità; nel caso sia necessario l'aggiornamento di uno dei livelli in ingresso (ad esempio l'uso del suolo), sarà sufficiente inserire il livello aggiornato (previa parametrizzazione della criticità) e far operare nuovamente il modello. Qualora invece si debba aggiungere un nuovo livello in ingresso si dovrà inserire un altro blocco nella sezione di *input*, modificare la sezione di elaborazione dati (sia con modifiche sulle funzioni che con l'aggiunta di opportuni blocchi) nonché la sezione di ottimizzazione dell'*output*. Tuttavia, anche in questo caso, è evidente il vantaggio che l'uso di un modello comporta in termini di tempo di aggiornamento.

Conclusioni

Il sistema messo a punto può costituire la base sperimentale per una piattaforma di valutazione tramite G.I.S. della criticità geomorfologica e geotecnica del territorio della provincia di Roma. Esso dimostra inoltre come la sempre maggiore disponibilità di mappe digitali e di sistemi informativi geografici sempre più efficienti e *user friendly* permettano di condurre analisi con un numero di parametri in continua crescita e con la possibilità di implementare le modalità di valutazione, di fatto aumentando notevolmente l'accuratezza di tali analisi.

Questo lavoro, nella fase attuale, può essere considerato come un dimostratore tecnologico per l'uso dei G.I.S., ed in particolare delle tecniche di analisi spaziale, nello studio qualitativo o semiquantitativo dell'idoneità territoriale (la criticità geomorfologica e quella geotecnica ne sono infatti un aspetto), dopo che tali sistemi hanno mostrato fin dal principio notevoli potenzialità nel campo della valutazione della suscettività da frana (van Westen, 1993; Carrara et al., 1995). Peraltro, la Provincia di Roma è altresì attiva in tale campo, nell'ottica di avviare una sinergia stabile tra le due linee di lavoro.

Attualmente si sta inoltre vagliando la possibilità di rendere consultabili i livelli informativi prodotti con simili metodologie attraverso un *webgis* interno ai servizi Provincia di Roma, nell'ottica di creare in futuro un *webgis* fruibile da qualsiasi tipologia di utente (dal grande ente pubblico al soggetto privato che realizza un manufatto), onde snellire l'iter di numerose procedure (in quanto l'utente può rendersi consapevole dell'idoneità territoriale o di alcuni suoi aspetti in una determinata zona) nonché di aumentarne la trasparenza.

Va sottolineato tuttavia che la procedura illustrata potrà essere oggetto di un sensibile miglioramento nel momento in cui saranno note le perimetrazioni corrette delle aree in dissesto della Provincia di Roma (attualmente l'ubicazione di tali aree mostra errori anche notevoli): infatti, tali perimetrazioni daranno la possibilità di realizzare degli indici di dissesto per ogni classe dei vari tematismi. Ciò permetterà, almeno per la criticità geomorfologica, di ridurre drasticamente l'arbitrarietà circa il peso (e quindi di calibrare il *range* di criticità) delle suddette classi, nonché di sperimentare un approccio multicriterio.

Bibliografia

Balestro G., Bini S., Piana F., (2007), "Metainformazioni geologiche per la rappresentazione della conoscenza nelle banche dati delle carte geologiche", *Rend. Soc. Geol. It.*, 4: 81-85

Canuti G., Casagli N. (1996), "Considerazioni sulla valutazione del rischio di frana", *Fenomeni franosi e centri abitati*. CNR – GNDCI - Regione Emilia Romagna, pbbl. n. 846, 58 pp.

Carrara A., Cardinali M., Guzzetti F., Reichenbach P. (1995) – "G.I.S. technology in mapping landslide hazard", Carrara A. & Guzzetti F. (Eds.), *Geographical Information Systems in assessing natural hazards*. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands, pp.135-175.

Mari M., Pappafico G., Romeo R. W., (2007), "Applicazione dei G.I.S. allo studio dei rapporti esistenti tra uso del suolo e dissesto idrogeologico", *Rend. Soc. Geol. It.*, 4: 87-90

van Vesten C.J. (1993) – "Application of Geographical Information System to landslide hazard zonation.", *ITC publication no 15*, ITC, Enschede, The Netherlands, 245 pp.

METODI FOTOGRAMMETRICI PER LA MISURA DELLE DEFORMAZIONI NELLE PROVE SUI MATERIALI DA COSTRUZIONE

Luigi BARAZZETTI, Marco SCAIONI

Politecnico di Milano, Dip.I.I.A.R., P.za Leonardo da Vinci 32, 20133 Milano
luigi.barazzetti@mail.polimi.it , marco.scaioni@polimi.it

Riassunto
Durante le prove di laboratorio sui materiali da costruzione la misura delle deformazioni avviene principalmente con strumentazioni di tipo elettrico o meccanico, che forniscono informazioni con precisioni notevoli (1÷100 μm) ma solo lungo alcune direzioni prefissate. In generale non sono quindi adatte per la valutazione del campo di deformazione dell'intero oggetto. La fotogrammetria consente invece un rilievo completo dello stato deformativo del corpo, con precisioni dello stesso ordine di grandezza delle tecniche classiche oggi utilizzate. L'uso di camere (o videocamere) sincronizzate e l'implementazione di opportuni algoritmi automatici permette l'immediata elaborazione dei dati, fornendo l'entità delle deformazioni in "quasi real-time".
Vengono di seguito proposte alcune metodologie appositamente sviluppate per alcuni casi reali, per i quali la misura delle deformazioni è avvenuta sia mediante sensori tradizionali, sia per mezzo di tecniche fotogrammetriche. In altri casi, invece, data la particolare natura dell'oggetto da rilevare, l'uso di immagini si è dimostrato essere l'unica alternativa perseguibile.

Abstract
Instruments adopted to measure deformation of construction materials during laboratory tests are generally mechanical or electrical sensors. These tools can measure displacements with a high precision (1÷100 μm), but only along particular prefixed directions. For these reason, they do not provide information about the deformation of the whole body. Photogrammetry allows a complete survey of the deformation field of a body, with precisions similar to those achievable with classical tools. The use of synchronized cameras (or still video-cameras) and the implementation of suitable algorithms allow the automatic dataset analysis and provide the results in "quasi real-time".
In this paper some methodologies developed and tested on real cases are presented, where measurements were carried out by using classical tools and photogrammetric techniques. In some cases, the particular nature of the investigated body allowed one to analyze the deformation by using only images, so that photogrammetry was the only possible choice.

1. Introduzione

L'interpretazione del comportamento di un materiale da costruzione soggetto a carichi avviene tramite l'analisi della curva sforzi-deformazioni. Mentre lo sforzo è a priori noto, essendo indotto dalla strumentazione stessa (presse, martinetti, pompe, …), le deformazioni devono essere misurate mediante strumenti ausiliari. Attualmente gli strumenti maggiormente impiegati per la misura degli spostamenti hanno un funzionamento elettrico-meccanico, basato sull'analisi delle differenze di tensione elettrica che risulta proporzionale allo spostamento stesso.
Durante le prove in laboratorio su una struttura vengono spesso applicati trasduttori di spostamento LVDT (*linear variable differential transformer*), composti da un corpo cilindrico contenente un trasformatore differenziale costituito da tre avvolgimenti (uno primario e due secondari).

All'interno del cilindro un nucleo ad elevata permeabilità magnetica può muoversi facendo variare la tensione indotta dall'avvolgimento primario sui secondari, generando così un segnale proporzionale alla posizione del nucleo. Un'altra tipologia di strumentazione molto impiegata sono gli *strain gauges* (o estensimetri), composti da una resistenza elettrica inglobata in un materiale plastico, che deve essere incollata sulla superficie del corpo di cui si intende misurare la deformazione.
Entrambe le apparecchiature richiedono il collegamento con centraline elettriche e forniscono misure estremamente accurate (sino ad una incertezza di ±1 μm), ma avvengono solo nelle particolari posizioni dove viene posto il sensore che, in molti casi (soprattutto gli *strain gauge*s), viene perduto al termine della prova.
L'uso di tecniche fotogrammetriche per la misura delle deformazioni permette invece l'analisi completa di tutto il corpo, mediante l'analisi di immagini acquisite con camere (o videocamere) sincronizzate. La creazione di appositi algoritmi consente anche all'utente non specializzato l'utilizzo di tali tecniche.
Molte pubblicazioni in letteratura (Roncella *et al.*, 2004; Maas & Hampel, 2006; Whiteman *et al.*, 2002) dimostrano come la fotogrammetria possa costituire una valida alternativa alle classiche strumentazioni oggi impiegate. Nel presente articolo vengono descritte due applicazioni che hanno richiesto lo sviluppo di un modulo apposito per la misura delle deformazioni, e una prova nella quale la misura è avvenuta per mezzo sia di metodi fotogrammetrici che tramite strumentazione classica.

2. La misura di campi di deformazione bidimensionali

L'analisi degli spostamenti di punti appartenenti a superfici piane è frequente nelle prove di laboratorio su materiali da costruzione. Un tipico esempio sono le prove a flessione su travi, dove gli sforzi vengono generalmente imposti tramite martinetti idraulici.
La misura degli spostamenti avviene con *strain gauges* o LVDT che, seppur siano in grado di evidenziare spostamenti con elevata risoluzione, forniscono misure solo di tipo puntuale e in poche zone di interesse.
Il modulo sviluppato, basato su tecniche fotogrammetriche digitali, permette l'analisi dell'intero campo di deformazione della trave mediante l'applicazione di target a basso costo, essendo composti da un pallino nero con sfondo bianco stampato su supporto cartaceo. L'economicità e la semplicità di applicazione sulla trave (a differenza dei collegamenti elettrici di cui necessitano le strumentazioni classiche) permettono la realizzazione di una maglia di target molto fitta e tale da poter ben rappresentare il comportamento dell'intera superficie della trave (Fig. 1).
Dinanzi alla trave viene posta una camera (o videocamera qualora sia necessaria una elevata frequenza di acquisizione) che deve essere mantenuta stabile per l'intera durata della prova, in modo tale che i parametri di orientamento risultino costanti per tutte le immagini della sequenza. Le immagini vengono poi solitamente acquisite ad intervalli di tempo regolari mediante l'intervento di un operatore, oppure in modalità automatica. Molte camere digitali disponibili sul mercato possono essere programmate per l'acquisizione automatica ad intervalli di tempo prestabiliti e con una frequenza elevata (anche 5 immagini per secondo). La singola immagine viene poi inviata ad un elaboratore elettronico tramite un collegamento via cavo o wireless, in modo da non occupare la scheda di memoria della camera e permettendo l'acquisizione di un numero di immagini pressoché illimitato.

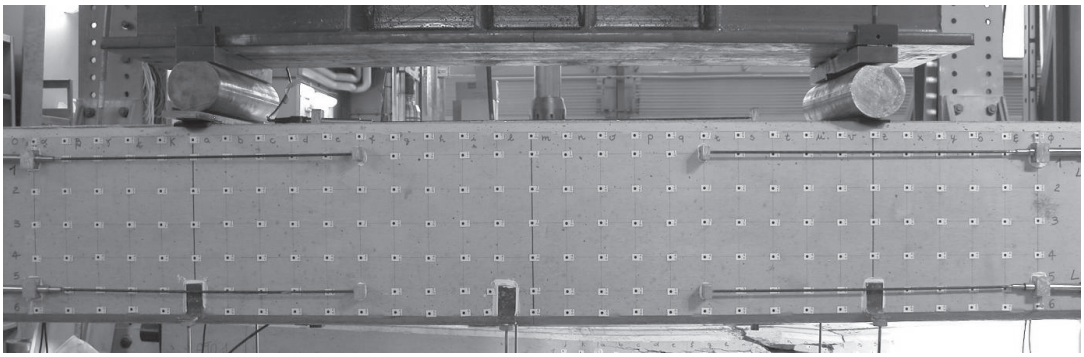


Figura 1 - La maglia di target sulla trave (Lab. GIMED - D.I.S., Politecnico di Milano)

Il metodo proposto permette la determinazione delle coordinate dei target di ogni immagine della sequenza mediante la stima di una trasformazione omografica. I parametri di input dell'algoritmo implementato sono:

- la sequenza di immagini;
- le coordinate di almeno quattro punti doppi, ovvero noti sia nel sistema di riferimento dell'oggetto che in quello immagine, per la stima dei parametri dell'omografia (poi mantenuti costanti durante la prova).

L'algoritmo esegue il raddrizzamento fotografico di ogni immagine della sequenza e provvede alla ricerca dei centri dei target sulle immagini raddrizzate mediante *Least Squares Template Matching*. L'algoritmo provvede dunque alla registrazione dei risultati, fornendo il campo di deformazione piano della superficie della trave, con una precisione dell'ordine di 1/20 pixel proiettato sull'oggetto (nel caso considerato 0.03 mm). Oltre ad un output di tipo puramente numerico, l'algoritmo permette la ricostruzione visiva degli spostamenti mediante il loro tracciamento sulle immagini raddrizzate e la loro unione in un video (Fig. 2).

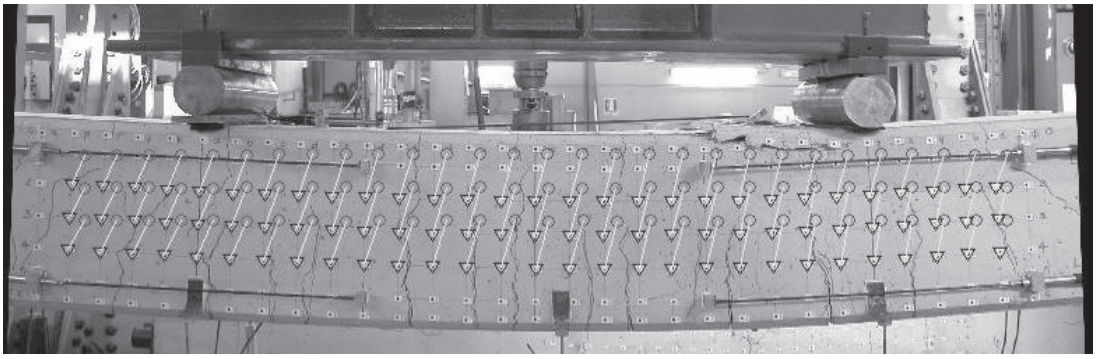


Figura 2 – Un frame del video riportante gli spostamenti dei target. Il cerchio indica la posizione iniziale del target, il triangolo la posizione per l'immagine considerata

Questa applicazione rappresenta un esempio dove la fotogrammetria consente di ottenere informazioni sull'intero campo deformativo della trave in modo assai più esteso rispetto ai sensori tradizionali ed a parità di precisioni ottenibili.

3. Misura dell'apertura di fessure su provini fluidi

E' noto che i materiali a base cementizia sono caratterizzati da un comportamento fragile e da una bassa resistenza a trazione. Negli ultimi anni, per limitare la propagazione di fessure all'interno di tali conglomerati, sono state introdotte fibre di acciaio o di altro materiale nella matrice cementizia, formando il cosiddetto *calcestruzzo fibro-rinforzato* (FRC-*Fiber Reinforced Concrete*, Cominoli *et al.*, 2006). E' facilmente ipotizzabile che tali materiali troveranno sempre una maggiore diffusione nei prossimi anni.

Presso il Lab. IC&T-Strutture del Polo Regionale di Lecco del Politecnico di Milano sono state eseguite alcune prove su campioni di FRC, il cui scopo è stato il controllo del grado di fessurazione dal momento del getto dei provini sino alla fase di presa.

Le principali problematiche riscontrate nella misura delle fessure sui campioni hanno riguardato:

- l'impossibilità di applicare alcun tipo di strumentazione (estensimetri, crepemetri,…) sul campione, data la natura fluida dello stesso;
- la necessità di ottenere non solo misure lungo direzioni prefissate (che sarebbero state ottenute nel caso di una possibile applicazione degli estensimetri) ma un'analisi completa dell'intera area fessurata.

A tal fine è stata realizzata un'opportuna strumentazione composta da un braccio meccanico dotato di un dispositivo di posizionamento automatico a cui è stata fissata una camera con una risoluzione di 2048×1536 pixel e dotata di un tele-obiettivo avente focale 200 mm (Fig. 3-A).

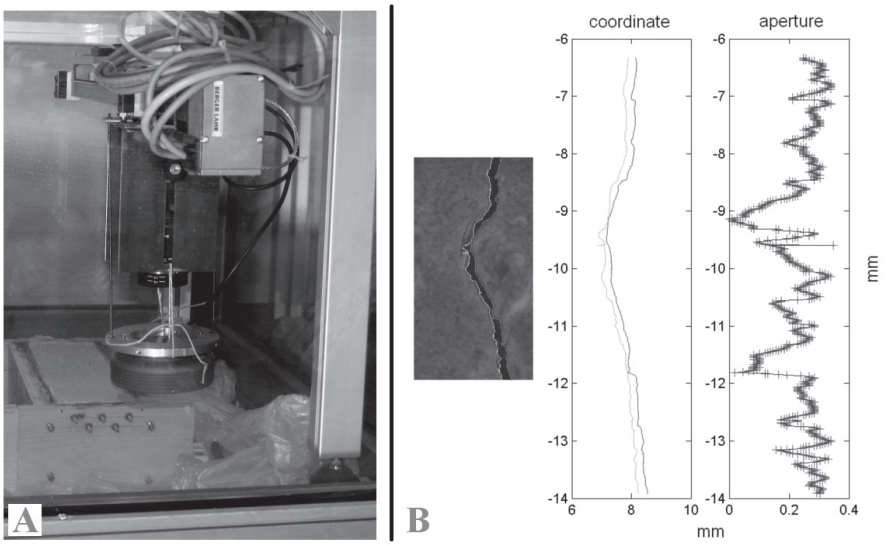


Figura 3 – A: La strumentazione per la l'analisi delle fessure su provini fluidi
B: L'output grafico dell'algoritmo di filtraggio

La camera è stata configurata in modo tale da acquisire immagini dei provini ad intervalli di tempo prestabiliti, ricoprendo ad ogni passaggio tutta la superficie del campione, non potendo prevedere dove potrebbe presentarsi una fessura.

Per eseguire la misura dell'ampiezza delle fessure formatesi è stato utilizzato l'algoritmo I.M.C.A. (*IMage Crack Aperture*), evoluzione di quello presentato in Barazzetti & Scaioni (2007). Tale algoritmo è in grado di individuare una fessura su una immagine digitale e contemporaneamente stimarne l'apertura nel sistema di riferimento legato all'oggetto. Inizialmente progettato per il

controllo di fessurazioni su strutture, I.M.C.A. è stato opportunamente adattato per l'utilizzo congiunto con la strumentazione precedentemente descritta. Il funzionamento dell'algoritmo è tale da permettere il suo utilizzo anche a personale senza particolari conoscenze di fotogrammetria. Individuata mediante una semplice selezione la zona di interesse sull'immagine, l'algoritmo ne esegue un filtraggio determinando le coordinate dei lati della fessura e fornendo l'apertura, con una risoluzione geometrica dell'ordine di 1 pixel (Fig. 3-B).
L'accuratezza dell'algoritmo è risultata di ±9 μm per misure di tipo relativo, ovvero per le variazioni di apertura, permettendo anche la misura di fessure non visibili ad occhio nudo. Inoltre tale algoritmo è anche in grado di valutare le variazioni di superficie della lesione.

4. Studio delle deformazioni di un oggetto 3D

La procedura per lo studio di spostamenti tridimensionali qui presentata è basata sull'uso di 2 camere digitali sincronizzate. La misura degli spostamenti avviene mediante target circolari (come nel caso bidimensionale descritto al par. 1), che devono essere applicati in zone dove si intende rilevare lo spostamento. E' inoltre opportuno applicare dei target in posizioni tali da ricoprire quanto più possibile l'immagine per permettere un miglior orientamento della stessa.
Tale procedura è stata applicata per la misura degli spostamenti e delle rotazioni di un provino di sabbia cementata contenuta in un cilindro metallico, sulla quale è stato disposto un disco di acciaio per simulare il comportamento di una fondazione superficiale. La prova è stata eseguita in collaborazione con il Lab. di Geotecnica del D.I.S. del Politecnico di Milano. La strumentazione utilizzata per indurre il carico è una pressa dotata di un dispositivo di controllo elettronico del movimento verticale (Fig. 4). Il carico è stato applicato in modo eccentrico provocando non solo spostamenti verticali ma anche rotazioni del provino.

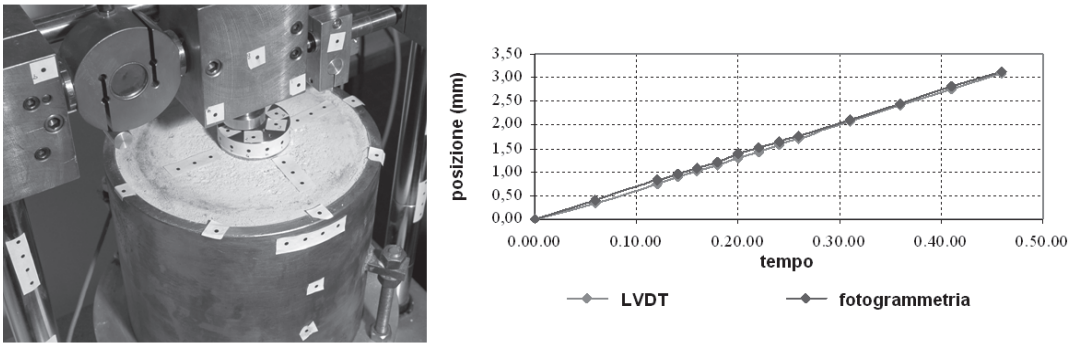


Figura 4 – La pressa di carico e il confronto LVDT - fotogrammetria

La misura degli spostamenti è stata condotta sia tramite strumentazione classica (in questo caso LVDT) sia per mezzo di tecniche fotogrammetriche.
L'utilizzo di camere sincronizzate e fissate in posizione stabile per l'intera durata della prova consente di determinare i parametri di orientamento all'epoca iniziale e quindi mantenerli costanti per tutte quelle successive. Le coordinate oggetto dei punti ad una generica epoca t_i sono pertanto determinabili mediante le equazioni di collinearità per mezzo delle corrispondenti coordinate immagine misurate di volta in volta, che rappresentano l'unica variabile.
Lo spostamento verticale indotto dalla pressa calcolato per mezzo delle immagini è stato poi confrontato con le misure del trasduttore lineare assunto come riferimento, data la notevole accuratezza dello stesso. Le differenze riscontrate tra i due metodi sono dell'ordine di pochi centesimi di millimetro (media nulla e s.q.m. ±0.02 mm), a fronte di uno spostamento complessivo superiore a 3 mm (Fig. 4). Pertanto, è possibile affermare che la fotogrammetria può costituire una

valida alternativa alle strumentazioni classiche anche per la misura di spostamenti tridimensionali. Inoltre, mediante il metodo descritto è stato possibile misurare anche le rotazioni del provino, fornendo quindi ulteriori informazioni rispetto a quelle tradizionalmente ottenibili.

5. Conclusioni

L'utilizzo della fotogrammetria digitale per l'analisi delle deformazioni durante le prove di laboratorio su materiali da costruzione rappresenta una valida alternativa alle classiche strumentazioni oggi utilizzate. In ogni caso, per ottenere risultati in modalità automatica o almeno semi-automatica, è necessario ricorrere alla implementazione di appositi algoritmi che consentano anche a personale non specializzato l'utilizzo di tali tecniche. L'uso di software commerciali (di semplice utilizzo e costo limitato) permette anche all'utente non qualificato la realizzazione del rilievo, ma in tal caso viene generalmente persa l'automazione della procedura, essendo tali software non specificamente progettati per misure di questo tipo. Inoltre, tali software non possono essere usati in alcune circostanze, quali quella descritta nel paragrafo 2.
Considerando inoltre che spesso si opera con sequenze di immagini e pertanto con operazioni ripetute, l'implementazione di moduli automatici è certamente la scelta più indicata.

Riferimenti bibliografici

Barazzetti, L., Scaioni, M. (2007) – *Automatic image-based crack deformation measurement.* In: A. Grün, H. Kahmen. (ed.s) *Optical 3-D Measurement Techniques VIII*, Zürich, Switzerland, Vol. 2: 287-294.

Cominoli, L., Failla, C., Plizzari, G.A. (2006) – *Fibre ibride per applicazioni strutturali del calcestruzzo fibrorinforzato*. XVIII Convegno Nazionale IGF, Cetraro

Roncella, R., Scaioni, M., Forlani, G. (2004) – *Application of Digital Photogrammetry in Geotechnics*, *IAPRSSIS*, Vol. 35, Part B5, Istanbul, Turkey: 93-98.

Maas, H.G., Hampel, U. (2006) – *Photogrammetric techniques in civil engineering material testing and structure monitoring*. *PE&RS*, Vol. 72(1): 39-45.

Whiteman, T., Lichti, D., Chandler, I. (2002) – *Measurement of deflections in concrete beams by close range photogrammetry*. IAPRS, Vol. 34, Part 4.

SIFT E GEOMETRIA MULTI-IMMAGINE PER LA MODELLAZIONE TRIDIMENSIONALE AUTOMATICA DA SEQUENZE DI IMMAGINI

Luigi BARAZZETTI, Marco SCAIONI

Politecnico di Milano, Dip. I.I.A.R., P.za Leonardo da Vinci 32, 20133 Milano
luigi.barazzetti@mail.polimi.it , marco.scaioni@polimi.it

Riassunto
L'utilizzo di descrittori capaci di individuare sulle immagini particolari invarianti per rotazione e scala, unitamente alle tecniche di geometria proiettiva, consentono la stima della geometria di presa e la ricostruzione dell'oggetto (Structure & Motion – S&M).
Scopo di questo lavoro è la creazione di un algoritmo in grado di eseguire la Structure and Motion in modalità completamente automatica, a partire da una sequenza di immagini (almeno 2) acquisita mediante una camera digitale calibrata in modo tale che ogni immagine formi una coppia stereo caratterizzata da un elevato ricoprimento con la successiva.
L'algoritmo provvederà in sequenza alla ricerca di punti omologhi mediante l'algoritmo SIFT e alla stima dell'orientamento relativo tre le coppie stereo attraverso la stima robusta della matrice fondamentale per la rimozione di eventuali valori anomali. Successivamente, noti i parametri di calibrazione della camera, è possibile rimuovere l'ambiguità proiettiva per una coppia di immagini scelta come riferimento. Nell'ultima fase, ogni immagine viene concatenata alla precedente mediante una progressiva *space resection* alternata a triangolazione, consentendo così l'aggiunta delle restanti immagini della sequenza.

Abstract
The use of descriptors which are capable of finding scale invariant features on the images and projective geometry techniques allow the estimation of the image orientation and the object reconstruction (Structure and Motion – S&M).
The goal of this work is the creation of an algorithm which is able to perform the Structure and Motion in an automatic way, starting from a sequence of images (at least 2) acquired with a digital calibrated camera. It is important that each image forms a stereo pair with the next one.
The algorithm will find homologous points on all images by using the SIFT descriptor, it will estimate the relative orientation parameters between each stereo pair with the robust estimation of the fundamental matrix to perform an outlier removal. Thus, it will provide the 3D coordinates for a stereo pair used as reference with only a scale ambiguity by using the camera calibration parameters.
Lastly the algorithm adds each image by using a progressive concatenation starting from the reference calibrated image pair.

Introduzione
L'analisi delle sequenze di immagini per la ricostruzione 3D degli oggetti è attualmente un obiettivo di primaria importanza sia in fotogrammetria che in *Computer Vision* (Pollefeys *et al.*, 2000). Seppure in entrambe le discipline l'obiettivo finale sia la realizzazione di un modello tridimensionale dell'oggetto, spesso le metodologie di analisi delle immagini e le procedure di orientamento delle stesse sono differenti.
Se in fotogrammetria in genere vengono impiegate le *equazioni di collinearità*, risolte per mezzo di linearizzazione e per via iterativa (quindi tramite l'impiego di parametri approssimati) in *computer*

vision sono state sviluppate da anni tecniche in grado di semplificare il problema rendendolo già lineare in tutte le varie fasi di orientamento e di ricostruzione dell'oggetto. L'utilizzo di questi metodi permette di risolvere i classici problemi fotogrammetrici (orientamento delle immagini, restituzione, ecc.) mediante la scrittura di sistemi lineari, che non richiedono dunque la conoscenza a priori di una soluzione approssimata. Tuttavia, questi non tengono in considerazione alcune problematiche che in fotogrammetria sono ormai ben note e risolte, le quali portano spesso ad errori nella stima della soluzione.
E' necessario specificare che le precisioni richieste nelle due discipline sono in genere molto differenti. Infatti, se in fotogrammetria è lecito aspettarsi precisioni dell'ordine di 10^{-5}, in CV spesso l'obiettivo è la formazione di un modello qualitativo adatto a scopi di visualizzazione (per esempio in una classica applicazione di robotica si ritiene che una precisione del 5% sulla dimensione dell'oggetto sia sufficiente per consentire ad una macchina di evitare gli ostacoli che si possono presentare dinanzi).
Poiché l'elaborazione in tempo reale risulta necessaria per molte applicazioni di intelligenza artificiale, l'uso di immagini acquisite con frequenze elevate ma di risoluzione limitata diventa fondamentale per limitare il costo computazionale degli algoritmi. Anche in tal caso si evince una discrepanza tra fotogrammetria e CV, essendo nel primo caso impiegate immagini con risoluzione (sia geometrica che radiometrica) molto elevata, mentre nel secondo si è soliti usare direttamente video dalla risoluzione generalmente non superiore a 1,3 Mpixel. Considerando però il numero di immagini impiegate nei due casi rapportato alla risoluzione dei sensori, il numero complessivo di pixel utilizzati in entrambe le discipline potrebbe risultare piuttosto simile.
Un notevole vantaggio degli algoritmi di CV è che sono "non calibrati", ovvero non necessitano della calibrazione della camera (o videocamera) usata. Pertanto non è essenziale conoscere la focale, la posizione del punto principale e le dimensioni del sensore per ogni immagine. Da ciò risulta che lo zoom può essere impiegato senza alcun accorgimento, oppure possono essere impiegate contemporaneamente camere differenti senza nessuna conoscenza delle loro caratteristiche. La ricostruzione che si ottiene è però gravata da una ambiguità proiettiva, che comunque può essere rimossa mediante tecniche di *auto-calibrazione*.
Analizzando vantaggi e svantaggi reciproci di fotogrammetria e CV risulta spontaneo chiedersi se queste discipline possano integrarsi a vicenda e quali siano gli interessi comuni. Recenti lavori (Roncella, 2006) hanno dimostrato come sia possibile ovviare ad alcune problematiche dell'una mediante l'altra. Un esempio tipico è costituito dalla determinazione dei parametri approssimati per eseguire una triangolazione fotogrammetrica a stelle proiettive di un blocco terrestre, dove risulta vantaggiosa l'applicazione di procedure di CV.
L'algoritmo qui proposto permette di analizzare una sequenza di immagini a bassa risoluzione acquisite con una camera (o videocamera) digitale. L'algoritmo, in modo completamente automatico, determinerà una serie di punti omologhi per le coppie di immagini della sequenza (1-2, 2-3, 3-4, …) e, noti i parametri di calibrazione della camera, inizialmente calcolerà una ricostruzione metrica dell'oggetto per una coppia di immagini scelta come riferimento. Infine, tutte le restanti immagini verranno concatenate alla coppia di riferimento nella sequenza, aggiornando di volta in volta la ricostruzione. L'output è costituito dalle coordinate oggetto dei punti omologhi determinati in automatico e dai parametri di orientamento delle immagini.

1. La misura automatica dei punti omologhi tra le immagini della sequenza

L'algoritmo sviluppato può indistintamente analizzare singole immagini oppure un video. Nel secondo caso è necessario specificare la frequenza di campionamento del video per l'estrazione delle immagini da utilizzare, in quanto se queste fossero in numero eccessivo, il costo computazionale dell'algoritmo aumenterebbe moltissimo e contemporaneamente si avrebbe anche un peggioramento della geometria di presa. Tale frequenza deve dunque essere appositamente scelta dall'operatore considerando la frequenza di acquisizione della camera ma anche la velocità di spostamento della stessa, ricordando che l'algoritmo sviluppato ricerca gli omologhi tra un'immagine e quella successiva e che quindi si dovranno sempre ottenere coppie stereo.

La ricerca dei punti omologhi avviene per mezzo del *descrittore SIFT* (Lowe, 2004), che permette l'individuazione di features invarianti per scala e contemporaneamente esegue una classificazione delle stesse, in modo da facilitare le operazioni di individuazione degli omologhi sulle coppie.
Poiché solo utilizzando il descrittore SIFT è possibile determinare i punti omologhi tra coppie stereo di immagini spesso, seppur in numero limitato, vengono determinate false corrispondenze che devono essere opportunamente eliminate. Al tal fine, per ogni coppia l'algoritmo procede alla stima robusta delle geometria di presa mediante il calcolo della matrice fondamentale **F** (Hartley & Zisserman, 2001). Questa è una matrice 3×3 caratterizzata da rango 2 che descrive la geometria di presa di una coppia di immagini. Date alcune coppie di punti omologhi $\mathbf{x}_i \leftrightarrow \mathbf{x}'_i$ espresse in coordinate omogenee sulle due immagini della coppia stereo, la matrice fondamentale esprime il vincolo di geometria epipolare mediante la relazione:

$$\mathbf{x}_i'^T \mathbf{F} \mathbf{x}_i = \begin{pmatrix} x_i' & y_i' & 1 \end{pmatrix} \mathbf{F} \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{pmatrix} = 0 \qquad (1)$$

La rimozione di false corrispondenze viene condotta mediante la stima robusta di **F** con la tecnica Least Median Squares (Rousseeuw & Leroy, 1987), che prevede la stima del minimo della mediana dei quadrati dei residui per l'insieme dei dati. Non esistendo una soluzione in forma chiusa, si fa ricorso a tecniche di *Random Resampling*, ovvero di estrazione di campioni casuali dall'intero set di dati costituiti dal numero minimo di dati necessario a calcolare i parametri. L'applicazione di questa tecnica robusta alla stima della matrice fondamentale avviene per mezzo della minimizzazione della distanza tra il punto sull'immagine e la retta epipolare calcolata a partire dall'omologo sull'altra immagine sempre per mezzo della matrice fondamentale (Scaioni, 2001). Infatti, le coppie di rette epipolari $\mathbf{l}_i' \leftrightarrow \mathbf{l}_i$ possono essere facilmente calcolate come $\mathbf{l}_i = \mathbf{F}^T \mathbf{x}_i'$ e $\mathbf{l}_i' = \mathbf{F}\mathbf{x}_i$, e quindi dipendono solo dalla matrice fondamentale determinata per ciascun campione estratto.
L'algoritmo sviluppato, implementato in parte in C ed in parte in MATLAB®, è in grado di analizzare una coppia di immagini in qualità VGA in meno di 5 secondi, fornendo le coordinate immagine degli omologhi per l'intera sequenza di immagini.

2. L'inizializzazione della struttura: le coordinate oggetto della prima coppia stereo

Scelta una coppia di immagini (tipicamente quella iniziale) è possibile ottenere le coordinate oggetto $\mathbf{X}_i$ dei punti omologhi $\mathbf{x}_i$ e $\mathbf{x}'_i$. La matrice fondamentale permette questa operazione mediante semplici algoritmi di triangolazione, ma fornisce una ricostruzione con una ambiguità proiettiva. La calibrazione della camera risolve completamente questo problema rendendo la ricostruzione sin da subito metrica (quindi con la sola ambiguità di scala) senza l'impiego di *auto-calibrazione*.
La calibrazione della camera può essere eseguita con qualsiasi software di calibrazione, ma in tal caso è stato utilizzato il *Camera Calibration Toolbox for Matlab* (Bouguet), che oltre ad essere gratuito mette a disposizione il codice di calcolo stesso.
La calibrazione fornisce la matrice di calibrazione **K** della camera (ed i parametri di distorsione), da cui possono essere determinate le *coordinate immagine normalizzate* per mezzo della sua inversa: $\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{K}^{-1}\mathbf{x}$. Le coordinate normalizzate dei punti omologhi di una coppia stereo soddisfano l'equazione $\hat{\mathbf{x}}_i'^T \mathbf{E} \hat{\mathbf{x}}_i = 0$, del tutto analoga alla (1), dove **E** è detta *matrice essenziale* ed incapsula la geometria di presa di una coppia di immagini calibrate. I gradi di libertà di **E** sono dati dai 3 elementi di una matrice di rotazione e dalle 3 componenti del vettore che congiunge i centri di presa (simile all'orientamento relativo asimmetrico); con l'aggiunta di un ambiguità di scala questi parametri si riducono a 5.

Considerando che una camera è uno strumento che esegue una trasformazione del tipo **x=PX**, **x'=P'X** per una coppia stereo, dove **P** e **P′** sono matrici 3×4 dette "matrice camera", mediante un algoritmo di triangolazione e note che siano le camere è possibile stimare le coordinate oggetto $\mathbf{X}$.
Dalla matrice essenziale è possibile estrarre una coppia di camere per eseguire tale triangolazione. Generalmente si assume la prima camera del tipo $P = \lfloor I \mid \mathbf{0} \rfloor$ per determinare di conseguenza la seconda che avrà una forma del tipo $P' = \lfloor R \mid \mathbf{t} \rfloor$, ovvero data dalla matrice di rotazione della seconda camera e dal vettore congiungente i centri di presa. Tramite la decomposizione in valori singolari (SVD) di $E = UDV^T$ è possibile ottenere 4 soluzioni per la seconda camera P' :

$$P' = \lfloor UWV^T \mid \mathbf{t} \rfloor \qquad P' = \lfloor UWV^T \mid -\mathbf{t} \rfloor \qquad P' = \lfloor UW^TV^T \mid \mathbf{t} \rfloor \qquad P' = \lfloor UW^TV^T \mid -\mathbf{t} \rfloor \qquad (2)$$

dove, $t = U(0 \quad 0 \quad 1)^T$ e W è una matrice ortogonale del tipo:

$$W = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad (3)$$

Delle 4 soluzioni solamente una è geometricamente corretta, ovvero rappresenta i punti davanti alle immagini. L'algoritmo quindi, ricevendo indicazioni su quale coppia di immagini debba essere utilizzata e noti i parametri di calibrazione della camera e le coordinate immagine, perviene ad una ricostruzione metrica per l'inizializzazione della sequenza.

3. Il concatenamento della sequenza

Le tecniche di geometria multi-immagine dimostrano che è possibile ottenere una ricostruzione 3D rigorosa usando coppie di immagini (mediante la matrice **F**/**E**), triplette (stima del *tensore trifocale*) oppure 4 immagini (tensore *quadri-focale*). Nel caso di 5 o più immagini (tipico di una sequenza) non esiste una soluzione con formulazione diretta come le precedenti, ma è necessario ricorrere ad un procedimento iterativo composto alternativamente da triangolazione e resezione.
In CV si definisce "Structure and Motion" (S&M) il processo di formazione di un modello 3D ("Structure") a partire dalle immagini dello stesso e dalle loro camere, opportunamente orientate ("Motion"). Nel presente lavoro, l'algoritmo aggiunge la terza immagine eseguendo una preliminare resezione per il calcolo della sua camera P'' mediante le coordinate oggetto $\mathbf{X}_j$ della prima coppia che compaiono anche sulla terza immagine ($\mathbf{x}''_j$). Infine aggiorna le coordinate oggetto aggiungendo quelle in comune alla coppia di immagini 2-3. La stessa procedura viene poi ripetuta per ogni immagine successiva (4, 5, …) sino al completamento della sequenza.

4. Esempi e sviluppi previsti

L'algoritmo è stato utilizzato per la ricostruzione di una facciata del Santuario di Re (VB), utilizzando un video di circa 10 secondi da cui sono state estratte 8 immagini acquisite con una Sony DSC-W30 con qualità VGA. Le 8 immagini sono risultate più che sufficienti per la ricostruzione dell'oggetto. In figura 1 sono riportate le prime due immagini della sequenza ed i punti omologhi estratti in modalità automatica mediante SIFT (in tutto 753) a cui sono state rimosse le false corrispondenze (dopo LMedS risultano 688 inliers). Successivamente sono state aggiunte le restanti immagini fornendo la ricostruzione proposta in figura 2, dove i punti segnalizzati sono stati aggiunti manualmente al solo fine di facilitare l'interpretazione e non sono stati utilizzati nei procedimenti di stima delle camere. Il processo di ricostruzione qui proposto è durato circa 40 secondi.

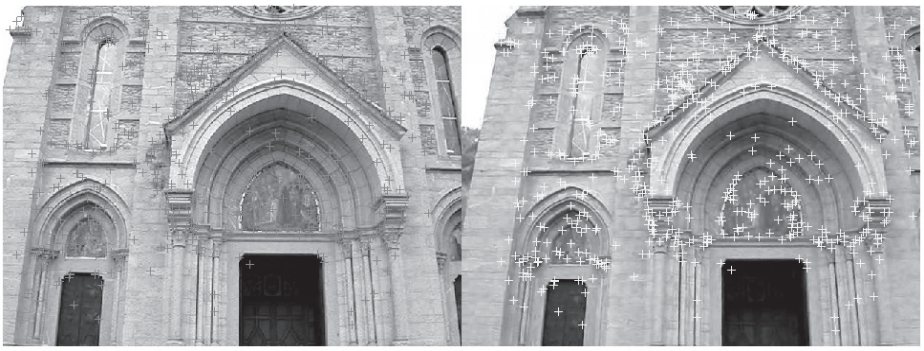
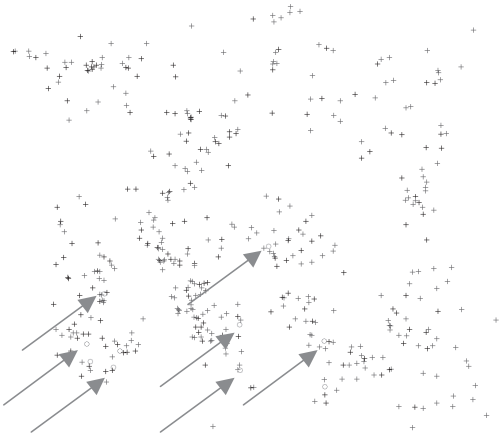


Figura 1 – Il matching automatico sulla prima coppia di immagini



Figura 2 – La ricostruzione dalle 8 immagini. I punti segnalizzati sono stati aggiunti manualmente al solo fine di facilitare l'interpretazione



In un secondo esperimento è stato verificato il funzionamento dell'algoritmo quando la frequenza di campionamento del video è tale da generare un numero di immagini nettamente superiore a quelle strettamente necessarie, il che potrebbe causare un peggioramento della geometria di presa con angoli di intersezione di raggi per punti omologhi troppo acuti. Il video ha una durata di 10 secondi e sono state estratte 45 immagini. In tal caso l'algoritmo di matching automatico ha identificato un numero considerevole di corrispondenze corrette proprio per la minima differenza tra una immagine e la successiva (figura 3).

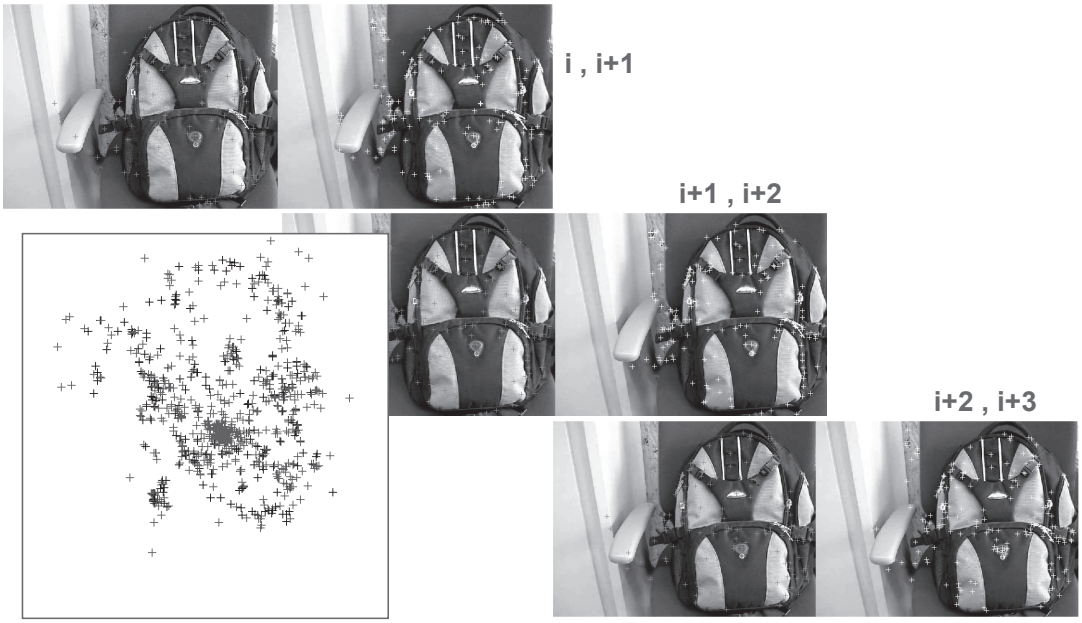


Figura 3 – Tre coppie di una sequenza di 45 immagini e la ricostruzione 3D finale

Il numero elevato di immagini ha permesso la determinazione di un maggior numero di coordinate oggetto, ma il modello creato non è ancora completo, come nel caso dell'esempio precedente. Per il completamento del lavoro sono possibili due scelte: la prima prevede l'aggiunta manuale di un numero di punti in zone significative misurati sulle immagini, in modo tale da completare la restituzione essendo noto l'orientamento delle immagini. La seconda invece è basata su algoritmi di *matching denso* per la determinazione automatica di una nuvola di punti su cui applicare la tessitura delle immagini per la formazione di un modello foto-realistico. Attualmente questa seconda soluzione è in fase di realizzazione.

Riferimenti bibliografici

Bouguet, J.Y. - *Camera Calibration Toolbox for Matlab*, www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/

Hartley, R. I., Zisserman, A. W. (2001) - *Multiple View Geometry in Computer Vision*. Second Edition. Cambridge University Press, Cambridge (UK).

Lowe, D. G. (2004) - *Distinctive image features from scale-invariant keypoints*. *IJCV*, Vol. 60(2): 91-110.

Pollefeys, M., Koch, R., Vergauwenand, M., Van Gool, L. (2000) - *Automated reconstruction of 3D scenes from sequences of images*. *ISPRS JPRS,* Vol. 55(4): 251-267.

Roncella, R. (2006) - *Sviluppo e applicazioni di tecniche di automazione in fotogrammetria dei vicini*, Tesi di Dottorato in Ingegneria Civile, Università degli Studi di Parma.

Rousseeuw, P. J., Leroy, A. M. (1987) - *Robust regression & outlier detection*. John Wiley & Sons.

Scaioni, M. (2001) - *The Use of Least Median Squares for Outlier Rejection in Automatic Aerial Triangulation*. In: Proc. of the 1st Int. Symp. on "Robust Statistics and Fuzzy Techniques in Geodesy and GIS", Institute of Geodesy and Photogrammetry, Beright n. 295, Zurigo (Svizzera): 233-238.

PROCEDURA PER IL RICONOSCIMENTO DI COLTURE AGRICOLE MEDIANTE DATI SATELLITARI ASTER

Maurizio BARBARELLA, Michaela DE GIGLIO

DISTART, Università di Bologna, Viale Risorgimento, 2 – 40136 Bologna,
(maurizio.barbarella, michaela.degiglio)@mail.ing.unibo.it

Riassunto
I dati forniti dai sensori satellitari multispettrali supportano da tempo le indagini in diverse discipline scientifiche, in particolare di tipo ambientale, consentendo di estrarre un gran numero di informazioni da tutte le bande disponibili: l'uso del suolo è uno degli ambiti nel quale l'applicabilità e il perfezionamento delle metodologie sono sempre più fortemente richiesti dal mercato.
Lo scopo del lavoro consiste nella realizzazione di una procedura semplice ed affidabile, basata sulle tradizionali tecniche di classificazione supervisionata, finalizzata all'identificazione delle colture presenti sul territorio: tale strumento può avere un'utile ricaduta per le Associazioni e le Amministrazioni coinvolte nei temi della produzione agricola e della gestione degli incentivi economici, nazionali e comunitari, destinati ai produttori. Tuttavia, il riconoscimento delle coltivazioni tramite dati telerilevati non costituisce un obiettivo facilmente raggiungibile. Infatti, anche se i risultati dimostrano come sia possibile individuare una coltura con un buon grado di attendibilità, è altrettanto vero che sono numerose le variabili in gioco. Tutte queste devono essere considerate per raggiungere un risultato efficace a servizio dell'utente finale.

Abstract
Data provided from multispectral satellite sensors are nowday widely used in environmental monitoring studies, enabling the extraction of several information through the available bands. In particular, the land use is one of the most relevant application requested from the final users (i.e. Agencies involved in agricultural markets) and the availability of a reliable methodology has to be adopted urgently.
The topic of this paper is the planning of an easier and reliable procedure, based on conventional techniques of supervised classification, for the recognizing and monitoring of the agricultural land use. Several local agency and private companies, that are managing national or European economic growing resource, are attracted by this procedure.
Nevertheless, the grow identification through remote sensed images isn't simple because of the dependencies from s several variables that have to considerate to attain the final aim.

Fasi della metodologia applicata
La metodologia messa a punto per il riconoscimento delle colture richiede una preliminare e attenta conoscenza dell'area osservata: la sperimentazione descritta ha interessato una parte della fascia costiera emiliano-romagnola, estesa dal Delta del Po al confine meridionale della provincia di Ravenna, caratterizzata da un'elevata variabilità comprendente elementi naturali altamente sensibili ed aree ad intenso sfruttamento agricolo. Il territorio risulta infatti suddiviso, come in molte altre zone d'Italia, in numerosi appezzamenti, di dimensioni variabili e coltivati con colture differenti, sia arboree che erbacee.
L'agenzia di riferimento che ha supportato l'attività di ricerca, fornendo un prezioso contributo in termini di dati forniti e di consulenza tecnica, è stata l'Unione Agricoltori di Ravenna: le aspettative

dell'Associazione, responsabile della gestione delle domande redatte dagli agricoltori per accedere agli incentivi previsti dalla PAC (oggi Domanda di Premio Unica), sono rivolte alla realizzazione di una procedura veloce, economica e valutabile con metodi statistici, per la classificazione delle coltivazioni, alla quale ricorrere in caso di contestazioni durante il processo di controllo delle dichiarazioni effettuate dai titolari delle aziende.
Gli aspetti fondamentali delle varie fasi affrontate, riepilogate nello schema a blocchi di Figura 1.1, sono di seguito riportate con particolare attenzione per le problematiche emerse.

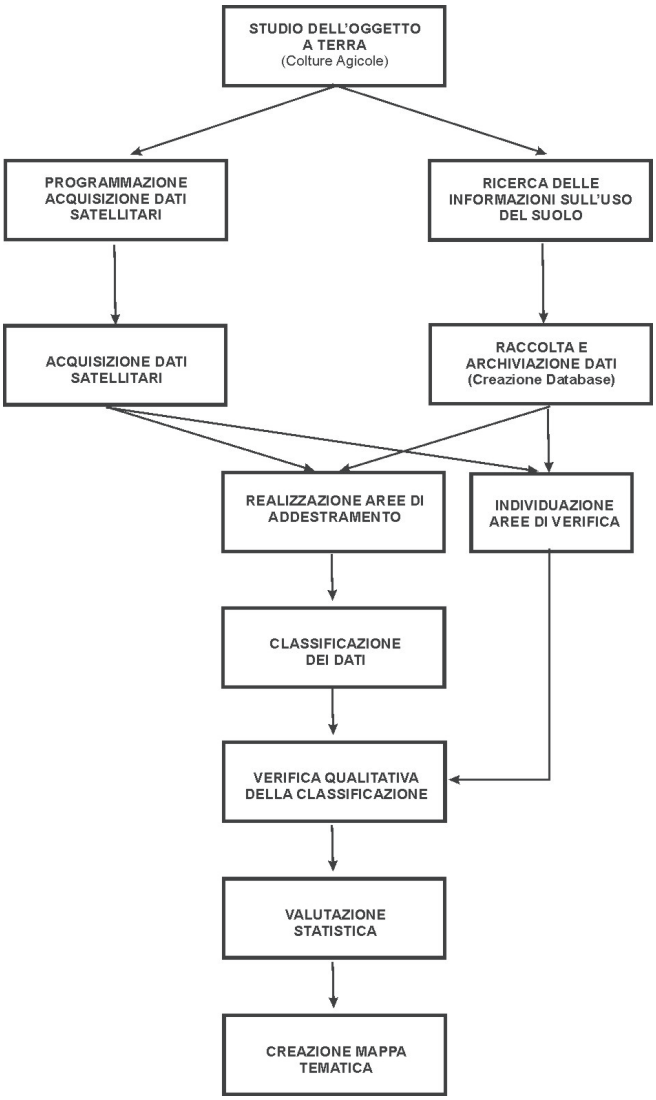


Figura 1- Flow-Chart della procedura

✓ Studio dell'oggetto a terra

Il primo passo prevede uno studio approfondito sul fenomeno monitorato, le colture agricole, volto all'individuazione del periodo di acquisizione migliore per estrarre il maggior numero di

informazioni dall'immagine multispettrale. La conoscenza iniziale richiesta non si limita ai tipi di coltivazioni presenti e alla loro localizzazione sul terreno, fase comunque molto delicata, ma comprende anche i singoli cicli di maturazione, le modalità di coltivazione, ecc. L'insieme di tutte queste indicazioni risulta fondamentale per la discriminazione delle firme spettrali dei singoli oggetti, che dipendono da diversi fattori, quali il tipo di pigmenti, la struttura della foglia, il contenuto d'acqua, lo stato fenologico, lo stato di salute delle piante e la presenza di malattie o di stress (Gomarasca, 1997).

✓ Ricerca delle informazioni sull'uso del suolo

E'necessario capire quali sono le fonti utilizzabili per ricostruire la situazione a terra dalle quali estrarre i campioni e verificarne la disponibilità. Trattandosi di realtà soggette ad una grande variabilità stagionale, la raccolta dei dati relativi alle coltivazioni può risultare molto articolata, sia per la tipologia che per il numero di informazioni coinvolte. In particolare, non esiste un archivio ufficiale, obbligatorio e di libero accesso, nel quale siano registrate le colture erbacee, con riferimenti dettagliati circa la loro collocazione, l'estensione e la produzione. Si può però ricorrere ad associazioni private che tutelano gli interessi degli agricoltori per la consultazione, previa autorizzazione, della documentazione riguardante le aziende agricole iscritte (es. ex PAC).
Le cartografie ufficiali invece, se esistenti e delle quali deve essere sempre controllato lo stato di aggiornamento, sono reperibili presso gli enti che le producono: nel caso esame sono state esaminate la Carta della Vegetazione (Provincia di Ravenna) e la Carta dell'Uso del Suolo (SIT, Comune di Ravenna) a scala 1:25000 rappresentate in falso UTM (indicato con UTM*, nel quale viene omessa la prima cifra della coordinata Nord), le mappe catastali (Agenzia del Territorio, Ufficio Provinciale di Ravenna, Direzione e Servizi catastali), il GIS dell'Agrea (in coordinate Gauss-Boaga). Nel caso in cui il lavoro sia svolto all'esterno di una associazione l'ostacolo maggiore è rappresentato dalla presa visione dei documenti privati degli agricoltori, per la quale deve essere previsto un accordo con l'ente responsabile.

✓ Programmazione e acquisizione dei dati satellitari

Parallelamente alla ricerca dei dati sull'uso del suolo, deve essere identificato il momento ottimale per la ripresa dell'immagine satellitare, per assicurarne la contemporaneità con la realtà a terra: lo sfasamento dei cicli di vita delle diverse specie però dimostra che non è univoco l'istante in cui il fenomeno è più evidente. Di conseguenza bisogna sottoporre agli algoritmi di classificazione dati acquisiti in tempi successivi, diversificando per ognuno le colture che si possono riconoscere, perché effettivamente presenti sul terreno. La risposta spettrale più rappresentativa, infatti, per ciascuna tipologia di pianta si ottiene in periodi diversi, a seconda dello stato fenologico e di tutti quei fattori che ne influenzano il comportamento.
La programmazione dell'acquisizione risulta il metodo più indicato per soddisfare la simultaneità tra l'immagine e le informazioni relative alle colture sul suolo. Allo stesso tempo però, dovendola prevedere con largo anticipo rispetto al periodo di interesse, si scontra generalmente con una serie di problemi pratici legati sia alla priorità che viene assegnata all'ordine all'interno di un certo numero di richieste provenienti da tutto il mondo, sia agli imprevisti che si possono verificare, primo fra tutti le sfavorevoli condizioni atmosferiche. Nell'eventualità che l'acquisizione non rispetti le condizioni iniziali è possibile ricorrere ad immagini di archivio, scaricabili direttamente dai siti interessati.

✓ Raccolta, omogeneizzazione e archiviazione dei dati

In genere i vari documenti, digitali e cartacei, vengono realizzati da soggetti differenti, anche in formati tra loro non compatibili. La fase successiva prevista è la georeferenziazione dei raster e dei vettoriali raccolti in un unico sistema di riferimento, in modo da rendere agevole la sovrapposizione dei diversi strati. Il loro reale utilizzo integrato però necessita di un'organizzazione in un database geografico, nel quale archiviare anche tutte le informazioni associate ai dati, in questo caso agli

appezzamenti di terreno (posizione, destinazione d'uso annuale o stagionale, dimensione, ecc.), facilmente aggiornabile. Devono quindi essere previste una serie di tabelle degli attributi con l'obiettivo di rendere agevole, ma anche il più automatico possibile, la fase di individuazione delle aree di addestramento e di verifica necessarie per l'applicazione degli algoritmi di classificazione (Barbarella et al., 2007).

✓ Realizzazione aree di addestramento e di verifica

La prima vera fase operativa della classificazione è data dalla determinazione dei *training sites*, non realizzabile comunque senza gli stadi precedenti. L'insieme delle informazioni disponibili è alla base anche dell'individuazione delle aree di verifica: infatti nella valutazione generale delle classi presenti nella zona esaminata, bisogna garantire lo stesso numero di coperture, attraverso campioni differenti, sia per l'addestramento del software sia per il controllo finale dei risultati. Durante l'esecuzione di questa delicata operazione, la consulenza di un agronomo diventa molto utile ai fini di un tracciamento corretto dei campioni, perché basato non solo sulle dichiarazioni degli agricoltori ma soprattutto sulla conoscenza delle numerose caratteristiche delle singole coltivazioni (Figura 2). L'efficacia di ogni campione verrebbe così direttamente valutata in funzione dei fattori in grado di influenzare la risposta spettrale dell'oggetto che contiene.

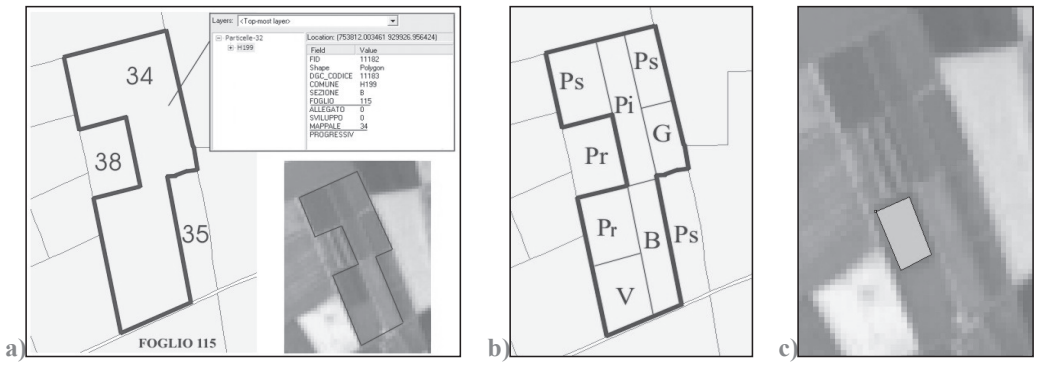


Figura 2 - Le informazioni provenienti dalle dichiarazioni PAC sono relative alle singole particelle catastali, nelle quali spesso sono presenti più colture (a). La suddivisione interna dettagliata (b), fornita dai tecnici dell'azienda esaminata, consente il tracciamento dei training site (c).

✓ Classificazione dei dati

Le immagini multispettrali si possono elaborare sia mediante classificazione per *pixel* che classificazione *object-oriented*. Il primo metodo si basa sull'acquisizione di un certo numero di pixel (*training*) per ciascuna classe del sistema di nomenclatura adottato, in modo da creare una firma spettrale per ogni categoria considerata: al pixel incognito viene attribuita la classe con firma spettrale più simile. Da precedenti esperienze l'algoritmo della *Massima Verosimiglianza* è risultato il più attendibile tra le tecniche supervised. In quella ad oggetti invece sono disponibili informazioni relative alla posizione, alla geometria, alla forma e ai valori spettrali, associabili a poligoni vettoriali, ottenuti da una segmentazione eseguita a priori. Per la successiva fase di classificazione possono essere applicati gli stessi algoritmi degli approcci pixel-oriented (Brivio et al., 2006).
La scelta tra le due tecniche deve essere effettuata prendendo in considerazione le risorse a disposizione per sostenere i costi relativi al software e all'addestramento del personale.

✓ Verifica qualitativa della classificazione

Di ogni classificazione deve essere effettuato il confronto con il vettoriale dei campioni a terra.

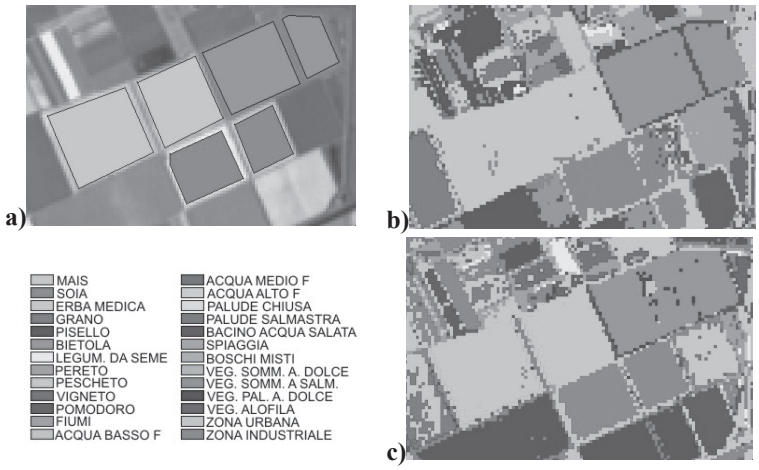


Figura 3 - Esempio di classificazione per pixel di immagini acquisite in periodi diversi. I campioni a terra (a) delle colture di mais, bietola sono riconosciuti quasi totalmente nel dato del 26/05/05 (b), mentre quello della soia è facilmente discriminato nel dato del 29/07/05 (c) quando la coltura è nel pieno della maturità.

✓ Valutazione statistica

I risultati della classificazione devono poi essere sottoposti ad una valutazione statistica che permetta di valutarne l'affidabilità. All'interno della procedura generale questo passaggio si traduce nel calcolo della matrice di confusione, ottenuta dal confronto pixel a pixel della classificazione rispetto alla mappa di riferimento delle verità a terra. Oltre a rispondere alle esigenze di definizione della frequenza e della natura dell'errore, ha lo scopo di chiarire quali classi non sono attribuite correttamente. Dalla matrice di errore si possono ricavare una serie di misure di accuratezza: l'accuratezza globale (probabilità che un pixel estratto a caso sia classificato correttamente nell'immagine classificata), l'accuratezza utente (probabilità che un pixel scelto a caso tra quelli appartenenti alla classe i nella classificazione, appartenga alla classe i nei dati di riferimento) con l'errore di commissione associato, l'accuratezza produttore (probabilità che i pixel del riferimento siano classificati correttamente) con l'errore di omissione associato e infine l'indice K, che tiene conto dell'assegnazione casuale dei pixel nella classificazione (Bishop et al, 1975). Questi parametri si possono calcolare tramite gli stessi software di classificazione o con altri creati ad hoc.

✓ Creazione mappa tematica

Il prodotto finale del protocollo impostato si può concretizzare con la stampa di una mappa aggiornata delle coperture agricole sul suolo: devono essere comunque applicate delle tecniche di post-elaborazione (ad esempio filtri per eliminare pixel isolati, filtri per uniformare i confini degli appezzamenti, ecc.) per rendere il risultato maggiormente leggibile dal punto di vista qualitativo.

Osservazioni sulla sperimentazione effettuata

La sperimentazione si è basata sull'utilizzo di immagini multispettrali Aster, caratterizzate da un buon compromesso tra le risoluzioni geometrica e spettrale: le 14 bande attraverso le quali il sensore acquisisce i suoi dati, comprese tra il visibile e l'infrarosso termico, si sono rivelate infatti molto utili soprattutto per le dimensioni del pixel rispettivamente di 15, 30 e 90 m, previste dai tre sottosistemi che lo compongono. L'archivio disponibile dei dati ASTER, comprendente 10 immagini (Level 1B) acquisite tra il settembre del 2000 e il giugno del 2006, ha permesso lo studio sia dell'evoluzione della firma spettrale delle singole colture nei diversi mesi dell'anno, sia della variazione della risposta spettrale di una coltura, ripresa nello stesso periodo di maturazione ma in anni diversi: per comprendere le cause è stato necessario conoscere la storia dell'appezzamento, nella quale un ruolo fondamentale è svolto in genere dalle condizioni climatiche e dalle condizioni del terreno. Si ricorda che, come suggerito in letteratura e verificato in altri lavori (De Giglio, 2008), le immagini satellitari, a differenza degli altri dati in gioco, non devono essere

preventivamente georeferenziate: l'operazione, che richiederebbe necessariamente una fase di ricampionamento geometrico e radiometrico (anche se conservativi), può compromettere l'efficacia degli algoritmi di classificazione. In relazione a questi ultimi, si è voluto testare sui dati sia la tecnica per *pixel* sia quella *object-oriented* per stabilire se l'una sia preferibile all'altra, sia in termini di accuratezza che di costi e tempi: nella maggior parte delle elaborazioni effettuate, il confronto tra le due metodologie non ha rivelato molte differenze nel riconoscimento delle singole colture (De Giglio, 2008), ma si precisa che da un punto di vista operativo la classificazione per pixel richiede una procedura più veloce, non prevedendo la fase di segmentazione.
I software utilizzati sono di tipo commerciale e da diverso tempo presenti sul mercato. Per la *classificazione per pixel* è stato impiegato IDRISI 32, realizzato da Clark University (Worcester, Massachusetts - USA), mentre per la *object-oriented* si è ricorsi al software per eccellenza in questo ambito, ovvero eCognition, creato da Definiens Imaging GmbH (München, Germany). In previsione di un utilizzo pubblico della metodologia sperimentata in questo lavoro per il monitoraggio delle colture agricole, lo scopo ultimo da raggiungere è la possibilità di sostituire tali software con delle valide versioni gratuite, ad esempio Multispec (School of Electrical and Computer Engineering, Purdue University, Indiana – USA) o Spring 4.0 (Istituto Nacional de Pesquisas Espaciasis, San Josè dos Campos, Brazil).

Considerazioni finali
Data l'esigenza di creare una procedura che possa essere utilizzata anche da utenti non altamente specializzati occorre che questa sia il più possibile semplificata, ovviamente nel rispetto dei limiti relativi al successo dell'analisi. Si aggiungono poi aspetti relativi alle diverse professionalità che vengono coinvolte: la doppia veste dell'"agronomo-ingegnere", in grado di manipolare dati satellitari ed interpretare correttamente le informazioni fornite dall'analisi, in relazione all'uso effettivo del suolo, non trova ancora oggi una riposta adeguata nei vari profili professionali delle offerte formative esistenti. Deve essere quindi previsto un periodo di affiancamento al personale che, all'interno della Società o Ente interessato, dovrebbe svolgere questo lavoro, con operatori più esperti, principalmente per la parte relativa al trattamento dei dati satellitari e alla conoscenza dei software. Inoltre, considerando che nella valutazione statistica sono richieste determinate conoscenze nel trattamento di variabili, è necessaria un'adeguata preparazione in materia, che permetta al tecnico dell'azienda di giudicare la validità di una classificazione all'interno delle contese nelle quali potrà essere chiamato in causa. D'altra parte, il destinatario di questo periodo di training, potrebbe essere già in possesso, probabilmente, di un bagaglio culturale di tipo agronomo-forestale.

Ringraziamenti
Si ringrazia l'Unione Agricoltori di Ravenna (Dr. D Verlicchi) per l'accesso alle dichiarazioni PAC.

Bibliografia
Barbarella M., De Giglio M., Zanni M. (2007), "Integration of satellite images for the creation of a GIS for the growing data management", 32nd ISRSE 2007: Sustainable Development Through Global Earth Observations, San Josè Costa Rica, 25-29 giugno 2007.
Bishop Y.M.M., Fienberg S.E., Holland P.W. (1975), "*Discrete Multivariate Analysis, Theory and Practice*", The MIT press, 555 pp.
Brivio P.A., Lechi G., Zilioli E. (2006), "*Principi e metodi di Telerilevamento*", CittàStudi Edizioni, Torino.
De Giglio M., (2008) "Monitoraggio di colture agricole mediante dati satellitari ASTER: problematiche e applicazioni", Tesi di Dottorato in Scienze Geodetiche e Topografiche, Università di Bologna.
Gomarasca M.A. (1997), "*Introduzione a telerilevamento e GIS per la gestione delle risorse agricole e ambientali*", Edizioni AIT, Firenze.

CONFRONTO DI CODICI DI CALCOLO PER L'INQUADRAMENTO DI RETI DI STAZIONI PERMANENTI PER IL POSIZIONAMENTO IN TEMPO

Maurizio BARBARELLA (*), Stefano GANDOLFI (*),
Antonio ZANUTTA (*), Nicola CENNI (**), Luciano RICUCCI (*)

(*) DISTART – Topografia – Facoltà di Ingegneria, Università di Bologna
Viale Risorgimento, 2 - 40136 Bologna, tel. 051-2093106, fax. 051-6448073
e-mail: (maurizio.barbarella@mail.ing.unibo.it, stefano.gandolfi@mail.ing.unibo.it antonio.zanutta@mail.ing.unibo.it, luciano.ricucci@mail.ing.unibo.it)
(**) Dipartimento di Fisica – Facoltà di SS.MM.FF.NN, Università di Bologna
Viale Berti Pichat, 8 – 40127 Bologna, tel. 051-2095009
e-mail: nicola.cenni@unibo.it

Introduzione

Negli ultimi anni in Italia sono nate e stanno consolidandosi reti di Stazioni Permanenti GNSS Regionali per il posizionamento in tempo reale. Per un buon funzionamento di tali strutture, è necessario che le stazioni siano inquadrate nel sistema di riferimento delle orbite dei satelliti GNSS. Come noto tale sistema di riferimento si materializza sulla superficie terrestre mediante un *frame* che attribuisce sia coordinate che velocità ad osservatori geodetici (stazioni GPS, etc..) permanenti appartenenti a circuiti internazionali (IGS, EUREF, etc..). Le coordinate di un qualsiasi punto sulla superficie terreste cambiano con continuità anche se il punto non subisce l'azione di eventi locali (frane, terremoti, etc.). Questo comporta la necessità di eseguire periodicamente l'inquadramento della rete istituita nel frame delle stazioni che definiscono il Sistema Geodetico assunto.
Tali calcoli richiedono l'uso di programmi di natura scientifica capaci di gestire sia le ricezioni che dati ancillari anch'essi prodotti dai centri di gestione dei sistemi geodetici internazionali. Attualmente i principali software che vengono utilizzati sono il codice Bernese, Gamit-Globk e Gipsy/Oasis II. Tali *software* possono basarsi o sul classico approccio differenziato con il calcolo di basi GNSS o sull'approccio non differenziato noto con l'acronimo PPP (Precise Point Positioning). Il lavoro fornisce alcune considerazioni sulla elaborazione dei dati di tali reti inquadrate nei sistemi di riferimento globali, utilizzando differenti software scientifici ed utilizzando differenti approcci.

1. Reti di stazioni GNSS permanenti per il posizionamento in tempo reale

Le reti per il posizionamento in tempo reale costituiscono infrastrutture capaci di fornire ad un utente dotato di strumentazione apposita correzioni da applicare allo osservazioni di fase tali da consentire l'esecuzione di rilievi GNSS con precisione centimetrica in tempo reale senza l'ausilio di ricevitori di riferimento posti su siti a coordinate note. La posizione che si ottiene risulterà riferita al sistema di riferimento nel quale viene calcolata la rete di stazioni GNSS (oppure in un altro sistema di riferimento qualora nel messaggio di correzioni vengano già inseriti opportuni parametri di trasformazione). La determinazione delle coordinate delle stazioni di riferimento è aspetto delicato e fondamentale sia per consentire alla infrastruttura di operare al meglio delle proprie possibilità sia per consentire all'utente di ottenere coordinate accurate nel sistema di riferimento indicato dal fornitore di servizi. Attualmente in Italia il quadro delle infrastrutture di questo tipo è complesso ed eterogeneo. Esistono reti NRTK gestite da ditte che commercializzano ricevitori quali la rete ITALPOS e ASSOGEO, reti gestite da strutture private a livello regionale (rete SO.G.ER e IREALP) o direttamente dalle Regioni (Abruzzo). Il problema che ci si pone è dunque ampio e

consiste nell'attribuire coordinate accurate a tali stazioni permanenti per consentire ad ogni utilizzatore di posizionarsi in modo corretto rispetto al sistema di riferimento considerato.
E' inoltre da sottolineare come sia auspicabile che utenti differenti che utilizzano reti differenti, possano occupare lo stesso punto ottenendo le medesime coordinate (a meno dell'incertezza intrinseca del sistema). E' dunque chiaro come i gestori delle reti debbano prevedere un "monitoraggio" della propria rete capace di apprezzare variazioni significative delle coordinate delle stazioni (nel sistema geodetico del sistema GNSS) e monitorare di conseguenza i parametri di trasformazione da trasferire all'utente.
Il problema che ci si pone è relativo a quale sia l'approccio più corretto per ottenere la stima di tali coordinate, anche considerando la presenza di differenti possibilità di elaborazione del dato e differenti codici di natura scientifica che presentano le caratteristiche di idoneità a tali calcoli.

2. Aspetti di gestione del dato delle stazioni permanenti

Le reti NRTK acquisiscono dati in continuo e tali osservazioni vengono poi memorizzate ed archiviate. Seppure i criteri che hanno portato i gestori di reti a definire siti e tipologie di centramenti forzati non seguano necessariamente standard internazionali, tali stazioni costituiscono comunque un patrimonio di dati utile non solo per il posizionamento in tempo reale. Tali dati possono essere utilizzati anche in altri campi applicativi o di ricerca e soprattutto devono essere la base di partenza per il controllo ed il monitoraggio delle coordinate da attribuire alle stazioni stesse.
E' dunque importante comprendere come possa essere strategico attuare politiche di monitoraggio continuo della rete mediante l'uso di programmi di calcolo capaci di attuare procedure automatiche di calcolo. D'altro canto, ogni singola stazione presenta una propria storia che vede di tanto in tanto aggiornamenti *hardware* o *firmware* e dunque al fine di poter conservare tale patrimonio, si ritiene che si debbano mutuare standard internazionali di archiviazione dei dati anche su tali reti ed anche se le reti si rivolgono principalmente a utenti per il posizionamento in tempo reale.
Più in particolare sarebbe opportuno che per ogni stazione fosse disponibile il cosiddetto *logfile* contenente la "storia" della stazione. Nel *logfile* verrebbero dunque riportate tutte le variazioni e gli aggiornamenti apportati alla stazione. Inoltre sarebbe opportuno che all'interno degli *header* dei dati fossero presenti sigle standard caratterizzanti la stazione, il ricevitore ed il sito stesso nonché coordinate approssimate relativamente precise.
L'IGS (International GNSS Service) dopo anni di attività è giunta a definire standard comunemente accettati e disponibili gratuitamente (http://igscb.jpl.nasa.gov/components/formats.html). Tali standard interessano tutte le parti del dato a partire dalle sigle standard delle antenne e dei ricevitori GNSS. Inoltre la stessa IGS produce prodotti ancillari necessari alla elaborazione dei dati GNSS che rispettano fedelmente gli standard. Scegliere di attuare tale politica costituisce sicuramente uno sforzo iniziale ma che porta inevitabilmente ad una riduzione dei costi di calcolo delle reti (si noti che dalle esperienze condotte grande parte del tempo dedicato alla elaborazione dati GNSS si deve impiegare nella armonizzazione dei dati registrati).

3. Software di Elaborazione dati e strategia di elaborazione/inquadramento

Assunta dunque centrale la necessità di calcolare con buona precisione le coordinate delle stazioni di riferimento, si pone il problema di quali possano essere i software disponibili che presentino buone attitudini ad affrontare tali calcoli. Esistono sul mercato molteplici software capaci di elaborare dati GNSS e la principale classificazione avviene tra codici di natura scientifica e codici commerciali. Sebbene in molteplici circostanze tali due classi di codici forniscano risultati confrontabili, esistono particolari circostanze dove i codici di natura scientifica appaiono più appropriati in quanto prevedono un livello di interagibilità più alta e la possibilità di introdurre elementi ancillari che nella maggior parte dei codici commerciali non è permessa. Il calcolo di grandi reti GNSS per ampie finestre temporali (mesi o anni) è sicuramente un settore dove i codici scientifici risultano essere più appropriati. Ciononostante anche all'interno dei codici scientifici si

pone il problema di quale tra essi sia il "migliore" o ancor meglio quali siano le differenze tra differenti codici. Si deve infatti sottolineare come la stessa IGS per la definizione del sistema IGb mondiale utilizza non un solo centro di calcolo e non un solo codice.
Per quanto attiene le attività di ricerca del DISTART, si è ritenuto interessante approfondire l'argomento individuando tre dei codici scientifici più utilizzati, e verificarne il loro funzionamento sotto molteplici aspetti. In particolare si sono utilizzati i codici Bernese (che presenta sia la possibilità di operare in modalità differenziata che nella modalità di Precise Point Positioning), Gamit (che utilizza un approccio differenziato) e Gipsy-Oasis II (che opera principalmente con approccio in modalità PPP). E' da evidenziare come gli utenti di un codice seguano spesso le indicazioni di chi ha sviluppato o sta sviluppando il codice stesso e che tali scelte non siano sempre mutuabili su altri codici. Il problema della strategia di calcolo però risulta essere un aspetto geodetico e sarebbe quindi opportuno utilizzare strategie comuni pur utilizzando codici differenti.
E' da sottolineare che nel passato erano stati già condotti test (sulla rete BO_POS) che intendevano verificare in termini di precisione ed accuratezza, quali fossero i migliori risultati raggiungibili utilizzando ciascuno dei codici individuati nel modo "più corretto" possibile o meglio seguendo soprattutto le indicazioni degli sviluppatori dei codici (Barbarella et al., 2007).

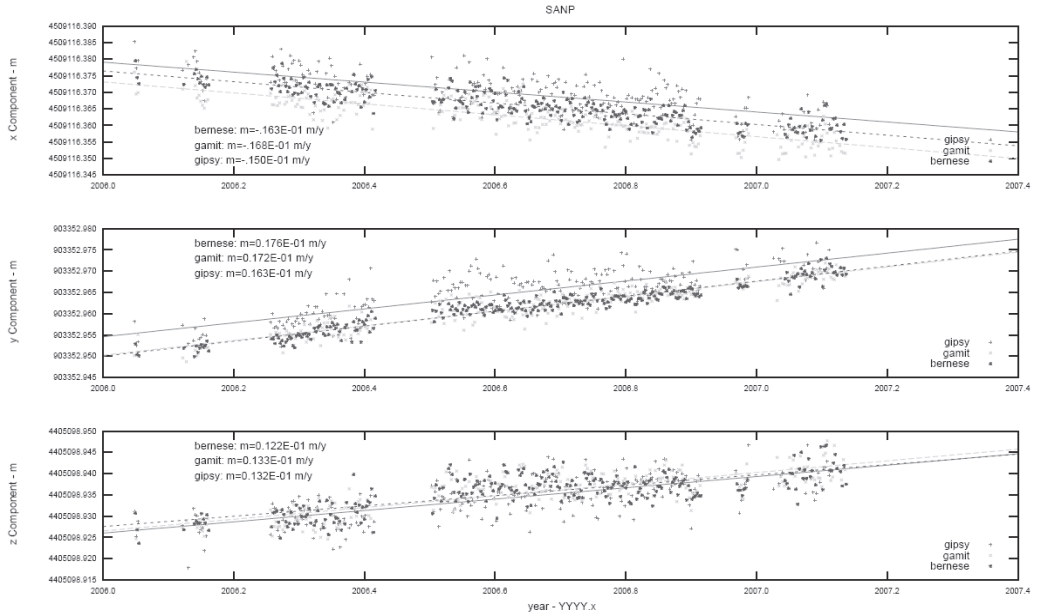


Figura 1 – Esempio di soluzione ottenuta dai codici Bernese Gamit e Gipsy per un sito della rete BO-POS nella prima sperimentazione.

I risultati ottenuti sono stati del tipo di quelli riportati in Figura 1 : i tre colori si riferiscono alle posizioni ottenute utilizzando i differenti codici (Bernese in blu, Gamit in verde e Gipsy in rosso), le linee rappresentano le regressioni lineari nei quindici mesi analizzati. I risultati hanno mostrato una sostanziale analogia tra i risultati dei differenti software, ma non è stato possibile comprendere la reale natura delle piccole differenze riscontrate, se cioè dovute a differenze effettive dei codici, oppure per contro dovute solo alle differenze dei parametri al contorno e delle procedure d'impiego utilizzate (in genere, quelle suggerite per ciascun codice). In questa nuova fase della sperimentazione, si intende rimuovere queste differenze ed eseguire i calcoli con le medesime condizioni al contorno, laddove i codici di elaborazione lo consentano. Per generalizzare il risultato, si è scelto sia di ripetere i calcoli sulla rete BO_POS sia di elaborare una rete di estensione nazionale (rete ITALPOS della ditta Leica Geosystem Italia) definendo a priori tutte le condizioni e i criteri geodetici per il calcolo.

4. Strategie di calcolo e parametri al contorno comuni adottati per l'elaborazione dei dati GNSS

4.1 Rete di inquadramento

Uno dei primi problemi nel calcolo di reti consiste nell'individuare quali e quante stazioni di riferimento utilizzare per l'inquadramento nel/i sistema/i di riferimento desiderati. Per quanto attiene il contesto italiano emergono due sistemi di riferimento dai quali non si può prescindere (ITRS e ETRS). L'ITRS trova la sua realizzazione dei frames ITRF calcolati dallo IERS a partire da *frames* calcolati nel sistema IGb (ottenuti dalla *tracking network* IGS) e combinati con le soluzioni provenienti da altre tecniche di posizionamento. L'ETRS viene invece definito dalla rete EPN (European Permanent Network) calcolata inizialmente nel sistema ITRS e poi depurata dal moto medio della placca Euroasiatica. L'EUREF e l'IERS producono soluzioni ufficiali che esprimono le coordinate di alcune stazioni di riferimento nei *frames* desiderati. In Italia e nelle nazioni limitrofe sono collocate molteplici stazioni GNSS permanenti che in alcuni casi sono appartenenti sia alla *tracking network* IGS sia alla rete EPN dell'EUREF. Di queste stazioni esistono le coordinate e le velocità sia nel sistema ITRS che nel sistema ETRS. Ai fini del calcolo di reti di stazioni permanenti non è necessario né che le stazioni di riferimento siano ad altissima densità né che esse siano particolarmente prossime alla rete da dover calcolare. Quando si dispone di ampie finestre di osservazione giornaliere e prolungate per mesi o addirittura anni, allora gli approcci per il calcolo delle reti consentono di raggiungere le più alte precisioni ed accuratezze anche con basi di qualche centinaio di chilometri. Con tali premesse, è stato realizzato un progetto che definisce quali siano le stazioni più idonee a consentire il calcolo di una rete NRTK collocata in una qualsiasi parte d'Italia. Tali stazioni sono dunque stazioni IGS ed EUREF dalle quali è possibile dedurre direttamente dagli enti preposti all'emissione degli aggiornamenti ai *frames* le coordinate che costituiscono un "vincolo" da dover onorare. Ultimo vincolo che si è considerato consiste nell'aver considerato la ormai prossima realizzazione della nuova Rete Dinamica Nazionale (RDN). Si è infatti verificato che tali stazioni fossero anche presenti in tale in modo da essere comunque allineati con le nuove scelte dell'Istituto Geografico Militare e non dover rieseguire calcoli nel momento in cui tale rete costituirà l'infrastruttura di base per l'emanazione del nuovo sistema di riferimento nazionale. L'elenco delle 13 stazioni considerate comprende CAGL, GENO, GRAS, GRAZ, IENG, LAMP, MATE, MEDI, NOT1, PADO, SOFI, WTRZ, ZIMM.



Figura 2 – Rete di inquadramento costituita da stazioni contemporaneamente IGS e EUREF individuate ed utilizzabili per il calcolo di una qualsiasi rete nel territorio italiano

In realtà, vista l'ubicazione di tali stazioni, si è poi deciso di aggiungere alcune stazioni permanenti per coprire un "vuoto" presente nell'Italia centrale, nella Corsica e nella parte centrale dell'Adriatico introducendo tre stazioni (AJAC, M0SE e DUBR) che comunque appartengono alla

rete EUREF. In figura 2 vengono evidenziate le stazioni individuate a tale compito specificando con pallini gialli quelle che soddisfano i criteri di cui sopra e con pallini verdi le tre stazioni aggiunte per raffittire ulteriormente le aree che si sono ritenute scoperte. Il numero di stazioni per l'inquadramento risulta dunque essere di 16.

4.2 Unificazione dei parametri di calcolo

Dalla analisi delle possibilità di scelta dei parametri e dei dati ausiliari di calcolo consentiti dalle versioni più aggiornate (a giugno 2008) dei codici impiegati, è stato possibile definire un set di parametri unici per tutti i codici; in particolare i principali parametri utilizzati per le elaborazione dati sono i seguenti:
Angolo di Cut-Off per le osservazioni: 13°;
Soluzioni Lc;
Nessun ricalcolo delle orbite;
Nessun ricalcolo dei parametri terrestri;
Stesso set di coordinate a priori;
Errore quadratico medio attribuito alle coordinate a priori 10m;
Orbite precise: IGS – SP3;
Variazioni dei centri di fase assolute delle antenne sia dei satelliti che dei ricevitori (Standard IGS);
Funzione mappante per la troposfera: Niell (1996);
Modello troposferico: Saastamoinen (1972).

4.3 Dati di reti NRTK

Spesso le reti NRTK presentano dati archiviati che contengono "buchi" o problemi. Tali problemi, almeno nel passato, erano dovuti al fatto che il file delle osservazioni veniva generato a partire da dati ricevuti in *streaming* dal centro di controllo. In sostanza ogni dato ricevuto in tempo reale veniva accumulato con quelli precedenti ed alla fine della giornata si disponeva del file di osservazioni per quella stazione. Il problema che si verificava era che di fatto non vi era garanzia di continuità nel flusso di dati e dunque capitava spesso che qualche pacchetto di osservazioni non venisse registrato dal centro di calcolo. Attualmente i software consentono, nella maggior parte dei casi di acquisire in modo giornaliero i dati ricevuti da ciascuna stazione ed archiviati preventivamente nel ricevitore stesso. In questo modo, il centro di controllo riceve giornalmente il file di dati del giorno precedente con un'unica trasmissione ed il file risulta essere "pieno".
Ciononostante può capitare che alcune stazioni presentino dati non completi sulle 24 ore e dunque preventivamente, vista la consistenza del *dataset* a disposizione, si è scelto di non elaborare file che presentassero finestre di osservazioni inferiori alle 8 ore.

5. Il calcolo della rete ITALPOS

Come già anticipato, le scelte adottate e i calcoli sono stati eseguiti preliminarmente sulla rete BO_POS gestita dal DISTART per scopi di natura puramente scientifica e mutuati sulla rete ITALPOS della ditta Leica. I calcoli sono stati eseguiti utilizzando i tre codici di cui sopra con le condizioni geodetiche individuate. Come mostrato in Figura 3, la rete ITALPOS è costituita da 130 stazioni (stato dell'arte al mese di giugno 2008), l'intervallo considerato (7 mesi) è più che sufficiente per la stima delle coordinate ma non per la stima accurata delle velocità. E' inoltre da sottolineare che non tutte le stazioni presentano dati per l'intero intervallo temporale considerato anche perché molte di esse sono state installate da poco. La prima fase è consistita nelle operazioni preliminari di pulizia del dato, con accurata indagine sulle antenne realmente installate e sui formati dati: come noto questa è una fase particolarmente lunga e complessa, ma che deve essere effettuata



Figura 3 – La rete ITALPOS di Leica (pallini blu) aggiornata al mese di giugno 2008

con la massima cura, come del resto si è accennato precedentemente. La seconda fase, consistente nel calcolo vero e proprio, è già iniziata e ha consentito di mettere a punto ulteriormente il set di dati eliminando incoerenze restate dopo l'analisi preliminare. Non ci si sta limitando solo alla elaborazione degli stessi dati con tre codici diversi, ma si stanno sperimentando diverse modalità di calcolo, consentite o suggerite dai diversi programmi. Tale scelta di natura prettamente scientifica intende indagare quali siano attualmente le tecniche che garantiscono maggior affidabilità per casi come questi. Per quanto attiene il codice Bernese, è stato scelto di effettuare il calcolo un unico cluster per l'intera rete e sono state realizzate anche soluzioni in PPP. Con il codice Gipsy è stato eseguito il confronto tra l'uso delle orbite JPL con file di calibrazione delle antenne relative e file di trasformazione e l'uso di orbite IGS, con file di calibrazione assoluta delle antenne. I tempi di calcolo variano notevolmente al variare delle potenzialità della macchina a disposizione ma da prime analisi emerge come le soluzioni PPP siano di gran lunga più veloci richiedendo circa una settimana di calcolo per l'intera rete. Le soluzioni con approccio differenziato richiedono almeno il doppio del tempo se non il triplo. Tali risultati ottenuti sono comunque in linea con quanto si conosce dalla teoria del calcolo differenziato rispetto all'approccio PPP.

Bibliografia

Barbarella M., Gandolfi S., Ronci E., (2006). "The Use of a GNSS Test Network for Real Time Application in Italy: First Results Based on Regional Field Test", *ION GNSS 19th International Technical Meeting of the Satellite Division*, 26-29 September 2006, Fort Worth, TX, USA, 1226-1232.

Barbarella M., Gandolfi S., Zanutta A., Cenni N., (2007), "Tecniche per l'inquadramento di reti di stazioni permanenti regionali per il posizionamento in tempo reale". *Atti del Convegno Nazionale SIFET (ISBN 88-901939-4-8)*, 27-29 giugno 2007, Arezzo, 52-59

J.M. Dow, R.E. Neilan, G. Gendt, (2005), "The International GPS Service (IGS): Celebrating the 10th Anniversary and Looking to the Next Decade", *Adv. Space Res.* 36 vol. 36, no. 3, pp. 320-326, 2005. doi:10.1016/j.asr.2005.05.125

Zanutta A., Gandolfi S., Vittuari L., (2008), "Geodetic GPS-based analysis of recent crustal motions in Victoria Land (Antarctica)", *Global and Planetary Change* (ISSN: 0921-8181), 62 (2008) 115–131, doi:10.1016/j.gloplacha.2008.01.001

STRUMENTI OPEN SOURCE PER LA PUBBLICAZIONE IN RETE DI INFORMAZIONI TURISTICHE PERSONALIZZATE

Barbara Rita BARRICELLI (*), Nicola MAIELLARO (**),
Marco PADULA (**), Paolo Luigi SCALA (**)

(*) Dipartimento di Informatica e Comunicazione, Università degli Studi di Milano,
Via Comelico 39/41, 20135 Milano, barricelli@dico.unimi.it
(**) Istituto per le Tecnologie della Costruzione, Consiglio Nazionale delle Ricerche,
Via Bassini 15, 20133 Milano, {padula, scala}@itc.cnr.it
Strada Crocifisso, 2/b, 70126 Bari, maiellaro@itc.cnr.it

Riassunto

Conservazione e promozione dei beni culturali per scopi turistici sono attività cosiddette "information intensive" che includono raccolta, organizzazione e pubblicazione online dei dati digitali necessari; di conseguenza, per il loro supporto e innovazione, grande aspettativa viene riposta nelle potenzialità prospettate dalle tecnologie dell'informazione e della comunicazione (ICT). Le informazioni da trattare riguardano il territorio e le risorse generalmente disperse; esse hanno natura frammentaria e il loro ciclo di vita richiede la collaborazione di diversi attori. E' stato quindi sviluppato un sistema di lavoro collaborativo e cooperativo (Carstensen, Schmidt, 1999) che tenesse in conto le necessità e le peculiarità di tutti gli attori coinvolti nel ciclo di lavoro, ed in particolare la necessità di interazione tra i differenti gruppi, supportata dall'introduzione di strumenti di annotazione, al fine di rendere il più efficiente e naturale possibile il raggiungimento dell'obiettivo comune. A questo scopo abbiamo utilizzato come punto di partenza per lo sviluppo degli applicativi open source distribuiti con licenza GNU GPL (Free Software Foundation, Inc., 2008); questa scelta ci ha permesso un notevole risparmio sia dal punto di vista economico che sui tempi di sviluppo e di testing, grazie all'opportunità di entrare in contatto con un'attiva comunità di utenti e sviluppatori, punto forte e caratteristico del mondo open source.

Abstract

Cultural and environmental heritage conservation for tourism promotion purposes are information intensive activities, including harvesting, organization and online publishing of the needed digital data; consequently, to support and innovate these activities, a large amount of expectations have been put over the potentialities of Information and Communication Technology. Information involved deals with the territory and the usually sparse resources; they are of a fragmented nature and their life cycle needs various actors to collaborate together. We thus developed an environment to support cooperative and collaborative work (Carstensen, Schmidt, 1999) which takes into account needs and peculiarities of all the actors involved in the work cycle, in particular the need of interaction between different groups, supported by the introduction of annotation tools, to make the accomplishment of the groups' common goal as more natural and efficient as possible. For this purpose we used as a starting point of the development process open source applications distributed over a GNU GPL license (Free Software Foundation, Inc., 2008); this choice allowed us to save a remarkable amount of time during the development and testing phases, and led also to financial benefits, in particular because of the opportunity to get in touch with an active community of users and developers, highlight of the open source world itself.

Introduzione

La gestione delle informazioni per la conservazione e la promozione dei beni culturali a scopo turistico richiede la collaborazione di diversi attori afferenti a vari dipartimenti della Pubblica Amministrazione occupati nella gestione delle informazioni georeferenziate riguardanti il territorio, l'ambiente e i siti di interesse storico e culturale; tali informazioni sono molto frammentate e vengono organizzate e rese disponibili sia per la promozione turistica sia per la conservazione del patrimonio culturale e ambientale. Fornitori dei dati (Pubblica Amministrazione, privati), gestori dei contenuti e grafici/publisher svolgono attività quali il reperimento dei dati (spesso cartacei), la loro digitalizzazione, composizione in mappe consultabili, pubblicazione in rete e annotazione delle mappe per comunicare diverse interpretazioni. Una tale diversificazione di ruoli e attività da svolgere implica il soddisfacimento di alcune esigenze: da una parte, la disponibilità di un unico ambiente software di lavoro che integri tutte le necessarie funzionalità che attualmente sono esistenti in componenti software autonome già pronte per l'uso (oppure disponibili in versioni da adattare agli scopi specifici degli utenti o da sviluppare ex novo); dall'altra, l'interazione differenziata con il sistema. E' necessario che le interfacce di lavoro siano personalizzabili, localizzabili, permettano l'annotazione dei dati per riferire fasi incomplete di lavoro, interpretazioni soggettive, memorandum, estensioni e dettagli e permettano anche l'inserimento di note da parte degli operatori per comunicare a sviluppatori e progettisti le richieste di modifica e adattamento. Aggiungendo a ciò la natura frammentaria dell'informazione da trattare, è stato necessario analizzare l'intero flusso di lavoro per indirizzare le idee progettuali verso soluzioni olistiche che supportino tutti gli operatori coinvolti (Carstensen, Schmidt, 1999) in modo efficace nel loro complesso e variegato processo lavorativo. Il ciclo di lavoro è stato schematizzato in quattro fasi distinte, ognuna delle quali coinvolge specifiche figure professionali caratterizzate da cultura, lingua e ruolo differenti: ogni attore coinvolto nel processo fruisce delle informazioni e le trasforma compatibilmente col proprio ruolo e la propria esperienza, in luoghi e tempi differenti rispetto agli altri attori. Nella prima fase, i vari dipartimenti raccolgono informazioni riguardanti la cartografia della regione, la cultura locale, la società, i servizi turistici (hotel, ristoranti, ecc.). Nella seconda fase, le informazioni raccolte vengono aggregate a cura dei gestori dei contenuti il cui compito è quello di convertire in forma digitale il materiale cartografico ricevuto dalla Pubblica Amministrazione e sintetizzarlo in mappe multi-livello. Il Web publisher è l'attore coinvolto nella fase successiva, la creazione e la pubblicazione in rete di pagine Web interattive caratterizzate da un alto livello di personalizzazione: vengono considerati sia gli aspetti fondamentali dell'interazione utente che le modalità di accesso ai contenuti. La fase finale del ciclo di lavoro riguarda l'utilizzo delle informazioni da parte degli utenti finali, cittadini o operatori di settore, che possono consultare le mappe pubblicate in rete utilizzando un comune browser Web, quindi connettendosi da postazioni Internet remote. L'opportunità di adottare strumenti esistenti, la necessità di integrare, estendere con nuove funzionalità e rendere interoperabili tali strumenti, ci ha orientato a scelte implementative open source, ideale riferimento sia per la vasta quantità di strumenti attualmente disponibili e adattabili, sia per l'accesso ad un'attiva comunità di sviluppatori e utenti a cui poter fare riferimento.

Il ciclo di lavoro

Le prime tre fasi del ciclo di lavoro vengono iterativamente svolte dagli attori coinvolti che spesso ricevono le informazioni su cui lavorare in tempi diversi e da diverse sorgenti. Oltre a ciò, le differenze culturali, di esperienza specifica e la necessità di interpretazione dei dati, soggettive e da diverse prospettive, manifestano l'opportunità di utilizzo di un canale di comunicazione informale offerto da strumenti di annotazione che verranno considerati nelle specifiche di progetto. Nella prima fase sono identificate due attività: la raccolta delle informazioni riguardanti il territorio, le risorse qui dislocate e i servizi offerti alla cittadinanza e ai turisti; la successiva digitalizzazione di tali informazioni per portarle da supporto cartaceo a digitale. L'attore principale in questa fase è rappresentato dalla Pubblica Amministrazione. Durante la seconda fase, le informazioni raccolte

nella precedente vengono aggregate in mappe multi-livello attraverso l'utilizzo di un software GIS: in questo modo vengono correlati tra di loro i dati cartografici e le informazioni territoriali a carattere turistico e culturale. Gli attori che svolgono questa attività sono i gestori dei contenuti i quali devono affrontare spesso problemi derivanti dall'eterogeneità dei formati dei dati provenienti dalla precedente fase di lavoro, risultato dell'utilizzo di differenti software non inter-operabili. La terza fase, la pubblicazione in rete dei contenuti, viene svolta dai Web publisher i quali configurano un ambiente di Web mapping per la creazione di pagine Web interattive basate sulle mappe multi-livello risultanti dall'attività precedente. Questa attività di configurazione non è supportata da interfacce di tipo WIMP (Window, Icon, Menu e Pointing Device), e costringe quindi i Web publisher a eseguire la personalizzazione dell'applicazione attraverso la modifica manuale di diversi file di configurazione testuali, attività tipicamente svolta dai sistemisti. In queste tre fasi è utile disporre di strumenti di annotazione integrati negli ambienti di lavoro che vengano utilizzati sia tra attori che si occupano di una specifica attività, per coordinare il lavoro, sia tra attori di attività differenti, per segnalare particolari necessità o modifiche da apportare a diversi stadi del ciclo di lavoro. Un esempio serve a chiarire la necessità di interazione attraverso l'uso di annotazioni tra attori di fasi diverse. Nella prima fase, una mappa in formato cartaceo rappresentante le vie di un centro storico viene digitalizzata e successivamente convertita in un formato CAD compatibile; durante la conversione è possibile che vengano generate primitive geometriche (in questo caso linee spezzate) che graficamente rappresentano in modo corretto la rete stradale, ma i cui tratti non sono messi in coerente corrispondenza con i nomi delle vie. Il problema viene notato solo nella seconda fase, quando le mappe vengono preparate per la loro successiva pubblicazione in rete: è quindi utile che il gestore dei contenuti annoti i dati specificando l'insufficiente accuratezza nella rappresentazione e i conseguenti limiti riscontrati e li rimandi alla Pubblica Amministrazione; in alternativa, può essere la stessa Pubblica Amministrazione che distribuisce mappe rappresentate in forma approssimata, ma sufficientemente accurata per molte attività, allertando sull'uso a cui sono destinate. L'ultima fase del ciclo di lavoro viene realizzata attraverso l'utilizzo delle informazioni da parte degli utenti finali. Essi consultano le mappe multi-livello alla ricerca di informazioni specifiche, utilizzando gli strumenti offerti dall'interfaccia Web realizzata nella fase precedente. Nella progettazione dell'ambiente di pubblicazione delle mappe sono state prese in considerazione comunità internazionali di utenti finali, il che ha portato allo sviluppo di un'applicazione che permetta l'accesso alle informazioni in diverse lingue. La creazione di applicazioni di questo tipo è detta "internazionalizzazione" ed è definita in (Esselink, 2000) come "il processo di generalizzazione di un prodotto per far sì che esso possa gestire più lingue e convenzioni culturali senza bisogno di essere riprogettato". Nel processo di sviluppo di software internazionalizzato e usabile (Nielsen, del Galdo, 1996), l'attività successiva all'internazionalizzazione è detta localizzazione ed è definita in (Esselink, 2000) come "la traduzione e l'adattamento di un software o di un prodotto Web, compresa l'applicazione stessa e la relativa documentazione prodotta". Gli utenti possono inoltre, attraverso le funzionalità integrate nell'applicativo, aggiungere annotazioni georeferenziate alle mappe per esprimere giudizi e scambiare opinioni con altri utenti riguardo ai servizi turistici o località di interesse visitate, andando così ad accrescere dinamicamente le informazioni disponibili.

Specifiche del sistema e scelte implementative

Per sviluppare un sistema integrato che rispondesse alle necessità di collaborazione e comunicazione tra i diversi attori predecedentemente descritti, sono state rese interoperabili due applicazioni eterogenee esistenti e distribuite open source sotto licenza GNU GPL: tale scelta implementativa ha permesso di entrare in contatto con comunità attive di sviluppatori e utenti, sia durante la fase di sviluppo che quella di testing del sistema. L'ampia disponibilità di documentazione e casi d'uso (reperibili facilmente attraverso strumenti di interazione quali forum tematici, mailing list e chat) e il forte spirito collaborativo tipico dei progetti open source hanno confermato la loro efficacia nel risparmio di tempo ma anche di denaro. Al fine di individuare dei

punti di partenza ideali per lo sviluppo del sistema proposto, sono stati esaminati differenti applicativi software già esistenti, tra ambienti GIS e applicazioni per il Web mapping; sono quindi stati valutati i seguenti ambienti GIS, tutti stand-alone ed open source:

- GeoVISTA Studio (Pennsylvania State University, 2008), un ambiente di sviluppo open software progettato per dati geospaziali. E' un ambiente programming-free che permette agli utenti di realizzare velocemente applicazioni per la computazione e visualizzazione di informazioni georeferenziate;
- SharpMap (SharpMap, 2008), un applicativo semplice da usare che permette di gestire informazioni GIS per il loro utilizzo sul Web e in applicazioni desktop;
- Quantum GIS (Quantum GIS Community, 2008), (QGIS) è un sistema informativo geografico, utilizzabile su sistemi Linux, Unix, Max OSX e Windows, che supporta svariati formati vettoriali, raster e database.

Dopo aver valutato le caratteristiche dei software sopra descritti, si è scelto di utilizzare Quantum GIS (QGIS). Esso è un sistema GIS open source rilasciato sotto licenza GNU GPL, che utilizza differenti formati e protocolli OpenGIS (OpenGIS, 2008); è completamente internazionalizzato (Esselink, 2000), ben documentato e multipiattaforma e integra GRASS (Geographic Resources Analysis Support System) (Neteler, Mitasova, 2007), un sistema informativo geografico utilizzato per la gestione, l'elaborazione, la modellazione e la visualizzazione di informazioni geografiche e spaziali in 2D e 3D. Le applicazioni software per il Web mapping che sono state analizzate sono le seguenti:

- Jshape (JShape Software, 2008), framework basato su Java, che offre agli utenti un'interfaccia GIS per la gestione e la pubblicazione sul Web di mappe cartografiche;
- MapBuilder (Bidochko, 2008), servizio Web 2.0 che permette di creare mappe per Google (Google, Inc., 2008) e Yahoo! (Yahoo! Inc., 2008);
- Ka-Map (MapTools.org, 2008), software open source che consente di utilizzare una API JavaScript per lo sviluppo di interfacce interattive di Web-mapping utilizzabili in gran parte dei browser Web;
- p.mapper (Burger, 2008), framework MapServer (Kropla, 2005) PHP/MapScript progettato per supportare lo sviluppo di applicazioni PHP/MapScript.

Dall'analisi dei quattro prodotti, p.mapper è risultato essere un'ideale punto di partenza per via della modularità del suo codice, utile per la personalizzazione del sistema e delle interfacce e per la sua estensibilità che ci ha permesso di realizzare nuove funzionalità e di associarle successivamente ad eventi come un "mouse-over" sopra una specifica porzione di mappa. La fase successiva all'identificazione degli applicativi da utilizzare come base per lo sviluppo, è stata l'analisi di tutte le attività costituenti il ciclo di lavoro al fine di individuare come tali applicativi potessero essere utilizzati, come estenderne le funzionalità e come renderli il più aderenti possibile alle necessità dei diversi attori, nonché come integrarli tra loro di modo da supportare il lavoro collaborativo, migliorando il bilanciamento del carico di lavoro tra gli attori coinvolti. Durante la fase di raccolta delle informazioni, il materiale viene acquisito dai content manager, convertito in forma digitale ed aggregato utilizzando QGIS, che è stato esteso per far fronte a specifiche limitazioni; in particolare, l'applicativo non permetteva la creazione di livelli vettoriali a partire da file in formato AutoCAD DXF (Drawing eXchange Format) (Autodesk, Inc., 2008), utilizzato per assicurare l'interoperabilità tra autoCAD e applicativi di terze parti. Era quindi necessario appoggiarsi a strumenti software stand-alone per la conversione dei dati da DXF a SHP (ESRI SHaPefile) (ESRI - the GIS Software Leader, 2008), ulteriore formato per la rappresentazione di dati georeferenziati largamente utilizzato in ambito open source e non, supportato da QGIS. Inoltre, QGIS non permette di collegare database esterni con quelli associati ai livelli vettoriali caricati nel programma, rendendo ancora una volta

necessario l'utilizzo di ulteriori software esterni. A fronte di ciò, sono state apportate alcune sostanziali migliorie all'applicativo: è stata innanzitutto sviluppata una plug-in per la conversione da DXF a SHP nativamente all'interno di QGIS, basata sulle due librerie GPL dxflib (RibbonSoft, 2008) e shapelib (MapTools.org, 2008), che permette inoltre un'efficace gestione delle etichette di testo incluse nel file DXF, usate ad esempio come nomi per le vie o per segnalare punti di interesse. La plug-in sarà ufficialmente pubblicata con la prossima release di QGIS (1.0). Una seconda plug-in è stata sviluppata per permettere il collegamento tra le tabelle di dati esterne e quelle associate ai livelli vettoriali in un progetto QGIS; selezionando l'attributo su cui si vuole effettuare l'operazione di collegamento è ora possibile aggiungere informazioni ai file DBF associati ai vari livelli. Inoltre, per semplificare l'operazione di pubblicazione sul Web della mappa multi-livello generata, è stata sviluppata una terza plug-in che assiste il Web publisher durante la terza fase del ciclo di lavoro, sostituendo totalmente la necessità di modifica manuale dei file di configurazione con un ambiente di configurazione completamente interattivo. Sono stati risolti vari problemi identificati nella quarta fase del ciclo di lavoro, ovvero la fruizione delle informazioni da parte degli utenti finali; p.mapper infatti esibisce delle limitazioni forti riguardanti la gestione di contenuti multimediali associati alle mappe: abbiamo quindi apportato delle modifiche per permettere la visualizzazione di immagini associate a particolari punti di interesse specificati nella base di dati associata al livello della mappa correntemente visualizzato. Le immagini vengono visualizzate al passaggio del mouse sul punto di interesse o nella finestra dei risultati dell'operazione di ricerca. L'interfaccia di p.mapper è stata arricchita con l'aggiunta di alcuni tasti per la localizzazione dinamica: gli utenti possono localizzare "al volo" l'intero ambiente di navigazione cliccando su uno dei bottoni che raffigurano le bandiere di diverse nazioni. Infine, un'ultima modifica è stata apportata a p.mapper per migliorarne la personalizzazione: è stata implementata una funzione di ricerca avanzata che permette agli utenti di eseguire ricerche complesse sui livelli, specificando vincoli su differenti campi dei database ad essi associati.

Annotazione

Già da prima dell'avvento dell'era digitale, l'annotazione costituiva uno strumento indispensabile sia ad uso personale che cooperativo: annotando dei documenti si andava ad integrarne il contenuto con delle informazioni aggiuntive, ampliando quindi la conoscenza veicolata dal documento stesso. In un contesto di lavoro collaborativo, i documenti cartacei, grazie alla loro annotabilità, costituiscono da sempre il mezzo attraverso il quale le persone coinvolte nel gruppo di lavoro possono condividere informazioni, idee, dati ed altro. Con l'introduzione dei calcolatori elettronici in ambito lavorativo, si è assistito alla nascita del documento elettronico, e-document, come evoluzione e complemento del tradizionale documento cartaceo (Fogli et al., 2005). Con la digitalizzazione dei documenti, siano essi testi o immagini, si è reso necessario realizzare degli strumenti software in grado di replicare le attività normalmente svolte dagli utenti sui documenti cartacei: l'annotazione elettronica, e-annotation, è uno di questi strumenti. Tramite l'apposizione di un'annotazione un utente può esprimere un parere o lasciare un commento relativamente ad una porzione del documento (un'immagine, una parola, una frase, un paragrafo, ...) e gli altri utenti possono di conseguenza prendere atto di quanto scritto nell'annotazione del loro collega o anche rispondere all'annotazione stessa con un'ulteriore commento. Nel contesto considerato in questo articolo, l'annotazione permetterebbe agli utenti finali di esprimere considerazioni personali riguardo a siti turistici da loro visitati. Lo stesso strumento di annotazione potrebbe essere utilizzato anche nelle prime tre fasi del ciclo di lavoro nelle quali i diversi attori potrebbero scambiare commenti di tipo tecnico sui documenti in preparazione.

Conclusioni

In questo articolo è stato presentato un sistema integrato per la gestione di informazioni georeferenziate riguardanti siti e territori di interesse per la promozione turistica e la conservazione del patrimonio culturale e ambientale; l'informazione raccolta proviene da differenti sorgenti,

generate e gestite da vari dipartimenti della Pubblica Amministrazione. Le persone che agiscono durante tutto il ciclo di lavoro descritto sono caratterizzate da differenti capacità tecniche, culture e lingue. Sono state conseguentemente identificate quattro fasi costituenti il ciclo di lavoro in cui varie attività vengono svolte da attori diversi, tra le cui necessità vi è quella di collaborare e comunicare tra loro attraverso lo strumento di annotazione. Gli strumenti utilizzati per svolgere tali attività hanno dimostrato un basso grado di interoperabilità, ostacolo per l'efficacia della collaborazione tra i vari gruppi di lavoro orientati a un obiettivo comune. Perciò differenti strumenti software open source eterogenei sono stati estesi ed adattati, permettendo la realizzazione di un ambiente collaborativo per l'authoring delle informazioni e la loro pubblicazione in rete. Il sistema realizzato supporta quindi il lavoro cooperativo, distribuisce il carico di lavoro, permette la gestione di dati georeferenziati complessi, favorisce lo scambio di informazioni tra i rappresentanti di interessi specifici coinvolti e favorisce il flusso dell'informazione tra le fasi del ciclo di lavoro.

Riferimenti bibliografici

Autodesk, Inc. (2008),DXF Reference, http://usa.autodesk.com/

Bidochko A. (2008), Map Builder: Rapid mashup development tool for Google and Yahoo Maps http://www.mapbuilder.net/

Burger A. (2008), p.mapper - a MapServer PHP/MapScript Framework, http://www.pmapper.net/

Carstensen P. and Schmidt K. (1999), Computer Supported Cooperative Work: New challenges to systems design, Handbook of human factors, 619–636

ESRI - the GIS Software Leader (2008), http://www.esri.com/

Esselink B. (2000), A Practical Guide to Localization, John Benjamins Publishing Co.

Fogli D., Fresta G., Marcante A., Mussio P. and Padula M. (2005), "Annotation in cooperative work: from paper-based to the Web one", International Workshop on Annotation for Collaboration, Parigi, 24-25 Novembre 2005.

Free Software Foundation, Inc. (2008), GNU GPL Licence, http://www.gnu.org/licenses/gpl.html

Google, Inc. (2008), Google Maps, http://maps.google.com/

JShape Software (2008), Jshape Java GIS, http://www.jshape.com/

Kropla B. (2005), Beginning MapServer: Open Source GIS Development, Apress

MapTools.org (2008), ka-Map, http://ka-map.maptools.org/

MapTools.org (2008), Shapefile C Library V1.2, http://shapelib.maptools.org/

Neteler M. and Mitasova H. (2007), Open Source GIS: A GRASS GIS Approach, Springer

Nielsen J. and del Galdo E.M. (1996), International User Interfaces, Wiley

OpenGIS (2008), http://www.opengeospatial.org/standards

Pennsylvania State University (2008), GeoVISTA, http://www.geovistastudio.psu.edu/

Quantum GIS Community (2008), http://www.qgis.org/

RibbonSoft (2008), dxflib, http://www.ribbonsoft.com/dxflib.html/

SharpMap (2008), http://www.codeplex.com/SharpMap/

Yahoo!, Inc. (2008), Yahoo! Maps, http://maps.yahoo.com/

SISTEMA INTEGRATO PER IL RILIEVO E LA GESTIONE DEL CATASTO DELLE AREE INCENDIATE

Vincenzo BARRILE (*), Giuseppe ARMOCIDA (**), Giuliana BILOTTA (***)

(*) DIMET (Dipartimento di Informatica, Matematica, Elettronica e Trasporti) - Facoltà di Ingegneria
Università Mediterranea di Reggio Calabria - Via Graziella Feo di Vito 89100 Reggio Calabria,
Tel +39 0965 875301, vincenzo.barrile@unirc.it.
(**) collaboratore esterno DIMET Via Graziella Feo di Vito 89100 Reggio Calabria, armocida.giuseppe@kosmosgis.it
(***) collaboratrice esterna DIMET Via Graziella Feo di Vito 89100 Reggio Calabria, giulianabilotta@libero.it.

Riassunto
E' nota l'importanza che assume il terreno ricoperto da una folta vegetazione ai fini della stabilità ed integrità del suolo rispetto a quello reso arido e brullo dal fuoco, e ciò in modo particolare alla luce dei crescenti cambiamenti climatici. L'azione a salvaguardia del territorio e la lotta contro il suo progressivo degrado ambientale focalizzano verso gli incendi estivi un'attenzione che è al centro anche della legislazione ambientale nazionale, che lega appunto il danno arrecato dagli incendi boschivi con la normativa edilizia ed il vincolo idrogeologico.
Obiettivo del contributo che viene qui proposto è il confronto di tecniche per l'elaborazione di dati ad alta risoluzione da satelliti ottici per la migliore discriminazione automatica delle aree percorse da incendio così come richiesto dalle leggi che impongono di censire e redigere la planimetria delle aree percorse da fuoco da vincolare successivamente, e l'integrazione delle tecniche elaborate in un GIS al fine di ottenere un'accurata perimetrazione, .

Abstract
Is known importance of a land covered with thick vegetation for the stability and integrity of the soil than that made dry and bare by the fire, and this especially in light of increasing climate change. The action to safeguard the territory with the fight against his progressive environmental degradation focuses attention on summer fires which is also at the heart of national environmental legislation, which binds precisely the damage caused by forest fires with the law and the construction of an hydrogeological bond.
Objective of the contribution here proposed is the comparison of techniques for data processing high-resolution optical satellites for better automatic discrimination of burnt areas as required by laws that require a census and prepare the floorplan of the burnt areas by tying, and integration of the techniques developed in a GIS for obtaining an accurate perimeter.

Introduzione
Nella presente nota si propone l'integrazione della segmentazione multirisoluzione in un pacchetto unitario per la rilevazione delle zone incendiate. La metodologia strutturale si differenzia dall'analisi spettrale classica: mentre l'analisi pixel-oriented *aumenta l'ambiguità nella definizione statistica delle classi di uso del suolo all'aumentare della risoluzione nelle immagini telerilevate, tale problema si riduce con le tecniche di segmentazione multirisoluzione e di classificazione* fuzzy. *Con l'analisi orientata agli oggetti è infatti possibile arricchire e migliorare le informazioni ricavate dai dati telerilevati ottenendone fra l'altro un'integrazione immediata nei GIS. Si è utilizzato anche un* decision-tree *che tiene conto degli indici conosciuti in letteratura (NDVI, NBR ecc) in modo da migliorare i risultati ottenuti.*

Il progetto complessivo ha come obiettivo principale quello di redigere la perimetrazione delle aree percorse da incendi attraverso un processo informativo organico e continuativo, generato sia tramite l'omogeneizzazione delle banche dati specifiche presenti sul tema che tramite l'acquisizione di tutti i dati necessari alla predisposizione e gestione del catasto tramite gli strumenti di rilievo messi a disposizione dalle odierne tecnologie e risorse della Geomatica tra cui il Telerilevamento.
Scopo finale del progetto è dunque quello di realizzare un completo Sistema Integrato Catasto Incendi nel quale si avrà contezza dell'evento incendio boschivo in relazione alla registrazione delle mappe, dei dati geometrici dell'area bruciata, del livello di danno, arrivando a fare una stima del carbonio perso in seguito al passaggio del fuoco.
Nella presente nota viene descritto l'approccio metodologico seguito nella realizzazione dell'intero progetto ancora in itinere, presentando esclusivamente allo stato attuale i risultati ottenuti in relazione alla procedura di discriminazione di aree incendiate tramite l'NBR nel *decision tree* e rimandando ad una successiva nota per la presentazione dei risultati relativi all'integrazione delle tecniche elaborate all'interno del GIS.

Approccio metodologico

In funzione a quanto detto è stata dunque implementata una metodologia altamente flessibile e disgiunta per i due momenti di formazione e di aggiornamento previsti dalle norme: il primo è inerente alla predisposizione del catasto incendi basato su informazioni storiche, il secondo è relativo all'aggiornamento del catasto. Si è posta poi particolare attenzione sull'aggiornamento da dati da satellite, caratterizzato da un elevato grado di accuratezza e tempestività delle informazioni basate su immagini satellitari ad altissima risoluzione.

Formazione del catasto incendi

Le fasi più importanti sono naturalmente la progettazione del modello logico-concettuale dell'infrastruttura del Sistema Integrato, l'omogeneizzazione delle basi dati e l'implementazione del *data entry* al fine di costruire la banca dati definitiva in formato PostGIS. La componente spaziale (geometria del rilievo) viene ricavata direttamente dalla banca dati del SIM (Sistema Informativo della Montagna) nella quale sono riportati i rilievi AIBFN eseguiti dal Corpo forestale dello Stato. La localizzazione spaziale delle aree percorse dal fuoco permette una esatta corrispondenza con le informazioni catastali vettorializzate, georiferite ed inserite nel *Geodatabase*.
La terza fase comprende l'analisi statistica dei dati con avanzate tecniche di creazione dinamica di report auto aggiornanti su analisi quali, tra le altre, quelle relative alla frequenza degli incendi per mese, per giorno e ora, per causa di innesco, durata degli incendi**.** Il sistema è quindi in grado di effettuare anche analisi statistiche di tipo spaziale così da affinare l'analisi delle variabili di tipo ambientale – territoriale, indagando le relazioni spaziali tra i fattori ambientali (essenzialmente morfologia, vegetazione, uso del suolo) con il verificarsi del fenomeno dell'incendio boschivo: frequenza degli incendi per classe di pendenza, per classe altimetrica, per esposizione del versante, per categoria forestale, per categoria di uso del suolo, per distanza dalle strade e dai centri o nuclei abitati ed altre ancora, tutte analisi che costituiscono la base di conoscenze per la realizzazione della carta del rischio d'incendio. Oltre a fornire report di stampa sulle analisi statiche (di tipo alfanumeriche e spaziali) il sistema è in grado di gestire la stampa delle particelle interessate dal fuoco con annesso documentazione utile alla pubblicazione nell'albo pretorio.

Aggiornamento del catasto incendi

Costituita l'infrastruttura di base del sistema con l'impianto dei dati di partenza e l'infrastruttura di gestione e di *storage* degli stessi, segue la fase di aggiornamento del catasto e quindi del complesso sistema proposto.

L'aggiornamento del catasto incendi consiste nel rilevare le aree percorse dal fuoco man mano che gli eventi si verificano o comunque in tempi utili all'esatta individuazione del perimetro delle porzione territoriale percorsa dal fuoco.
Tra i diversi processi di intervento possibili per la fase di aggiornamento del catasto, che si differenziano in funzione delle diverse modalità di acquisizione del dato (area percorsa dal fuoco), l'ipotesi di aggiornamento del SIM attraverso l'acquisizione e la classificazione delle immagini da satellite, come ricordato in precedenza, risulta essere la soluzione auspicata in quanto caratterizzata da un elevato grado di accuratezza e tempestività delle informazioni ed inoltre capace di realizzare un migliore rapporto costi/benefici. Con la stessa dotazione informativa - immagini satellitari ad altissima risoluzione – si potranno tra l'altro realizzare ulteriori studi utili al monitoraggio e aggiornamento di informazioni di settore quali ad esempio uso del suolo, discariche abusive, copertura in cemento amianto, alvei fluviali, aggiornamento cartografico, inquinamento ambientale. Inoltre, si rende esecutivo un altro importante aspetto di valutazione del danno occorso alla vegetazione e stima delle emissioni di CO_2 dovute al passaggio dell'incendio boschivo.

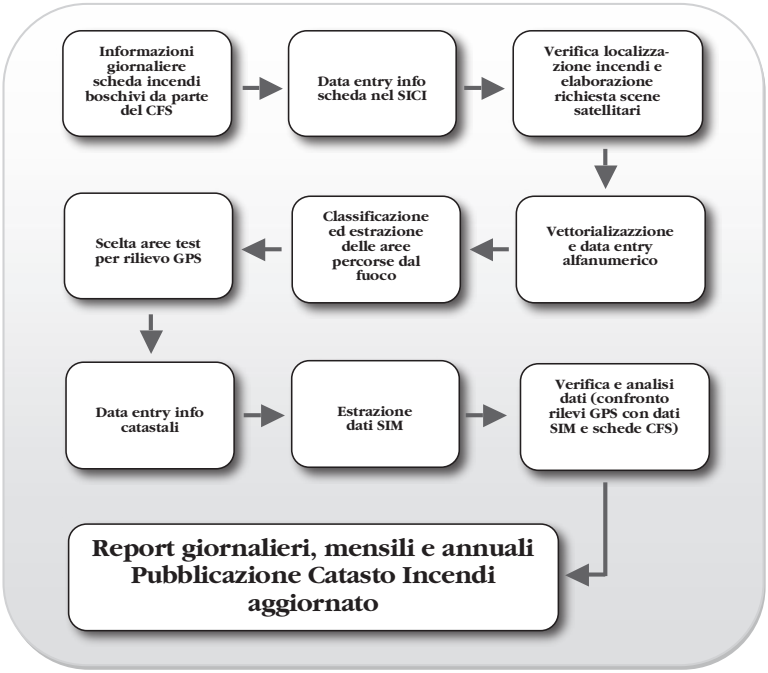


Figura 1 – Diagramma di flusso aggiornamento da telerilevamento.

Le elaborazioni previste si basano sull'analisi di immagini satellitari di diversa origine e natura (Landsat, QuickBird), con la realizzazione di elaborazioni atte all'individuazione delle aree già interessate da incendi, di analisi multitemporali realizzate a tal fine dai dati multispettrali dei sensori *Enhanced Thematic Mapper* (ETM+) del satellite Landsat7, di analisi delle immagini ad altissima risoluzione del satellite QuickBird con l'uso di tecniche statistiche basate sull'NDVI (*Number Digital Vegetation Index*), sul NBR (*Normalized Burn Ratio*) ed inoltre su tecniche innovative basate sulla segmentazione multirisoluzione e sulla realizzazione di gerarchie di classi tra loro correlate al fine di realizzare un'adeguata classificazione del territorio che discrimini in modo corretto le aree percorse dal fuoco.
La scelta del tipo di dato satellitare ad alta risoluzione viene dettata da una serie di considerazioni:

a) Le dimensioni dell'area da analizzare: considerato infatti che l'applicativo è rivolto ad un territorio comunale per la maggior parte non densamente urbanizzato. .
b) L'analisi consentita dai dataset del Landsat, se pure preziosa per la disponibilità delle bande nell'infrarosso vicino, medio e termico, si rivela insufficiente sia per le dimensioni del pixel sia per l'indisponibilità di dati affidabili a seguito di taluni malfunzionamenti del Landsat 7 (ad esempio nella tarda primavera 2003). Si è reso perciò opportuno riferirsi a dati ad altissima risoluzione, quali quelli del satellite QuickBird.
Si è quindi implementata un metodologia con dati telerilevati Landsat combinati con dati telerilevati QuickBird ad altissima risoluzione spaziale. La scelta di entrambi i dati è da ricercarsi in diverse motivazioni, in primis quella di condurre un'indagine su uno spazio di notevoli dimensioni, in maniera accurata, limitandone tuttavia il costo. Il dato Landsat viene fornito a un costo relativamente basso, se paragonato alla vasta utilità che se ne può fare. Per il nostro caso esso torna utile, in quanto l'oggetto d'analisi sarà sottoposto a una procedura di classificazione basata su criteri decisionali (indici di vegetazione) che lavorano nelle bande dell'infrarosso vicino e medio, e il dato Landsat è uno dei pochi disponibili ad avere una certa varietà di bande. Si pone però l'obbligo di combinarlo con il dato QuickBird che ha nella risoluzione spaziale uno dei suoi punti di forza.



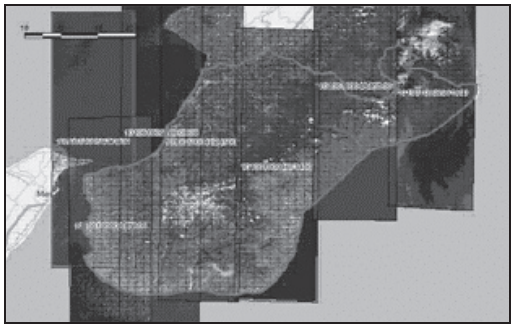
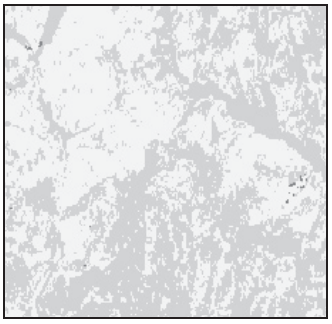


Figure 2 e 3 – Scene Landsat e Quickbird disponibili sulla provincia di Reggio Calabria.

Dalla loro fusione risulta un dato che mantiene l'ampio numero di bande spettrali del Landsat per gli indici caratterizzanti la procedura di classificazione successiva, ma al tempo stesso presenta un più accurato dettaglio, dovuto alla nuova risoluzione spaziale ereditata dal dato QuickBird. Procedendo alla sovrapposizione con un modello di elevazione digitale (DEM) relativo alla zona di interesse, necessario per garantire le adeguate correzioni circa la topografia del dato, si ha anche la possibilità di definire le caratteristiche di versante e pendenza necessarie per discriminare le situazioni delle aree percorse da incendio. Il dato così ottenuto viene sottoposto a una procedura di classificazione semi-automatica, sviluppata all'interno del software ENVI, seguendo sostanzialmente i passi seguenti:
- Acquisizione dell'immagine;
- Classificazione finalizzata all'evidenziazione delle aree percorse da incendi;
- Elaborazione e sintesi tramite indici di vegetazione (NBR e BAI).

L'analisi condotta ruota sull'elaborazione dell'immagine classificata tramite gli indici di vegetazione NBR. Tali indici rappresentano i criteri decisionali per andare a effettuare la differenziazione sull'immagine.
L'NBR è sensibile al danno provocato dal fuoco sulla vegetazione mentre il BAI rileva la deposizione dei resti di combustione dopo l'incendio.



-

Figura 4 – Discriminazione di aree incendiate tramite l'NBR nel decision tree.

I due indici sono calcolati in base alle seguenti formule:

$$NBR = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)} \qquad [1]$$

dove:
NIR = banda dell'infrarosso vicino
SWIR = banda dell'infrarosso a onde medie

$$BAI = \frac{1}{(REDrif - REDind)^2 + (NIRrif - NIRind)^2} \qquad [2]$$

in cui:
RED = banda del rosso
NIR = banda dell'infrarosso vicino

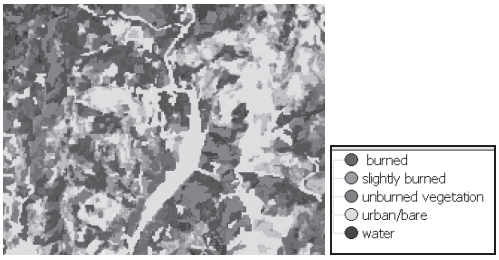


Figura 5 – Classificazione di dato Landsat in area fortemente compromessa – terzo livello.

I parametri per la segmentazione multirisoluzione sono stati determinati empiricamente. Il parametro di scala determina la massima eterogeneità consentita per l'immagine risultante.

Livello di segmentazione	Bande					Homogeneity criteria			
								Shape Settings	
	BLUE	GREEN	RED	NIR	Scale	Color	Shape	Smoothness	Compactness
Level I	1	1	2	2	15	0.8	0.2	0.7	0.3
Level II	1	1	2	2	60	0.8	0.2	0.7	0.3
Level III	1	1	2	2	150	0.8	0.2	0.7	0.3

Figura 6 – Tabella illustrante i parametri per la segmentazione del dato Quickbird.

Conclusioni

Con l'uso di tecniche che tengono conto degli indici di vegetazione NBR e BAI utilizzati nell'ambito della classificazione *object-oriented*, la cui integrazione si prevede di migliorare con l'ausilio di criteri decisionali per la discriminazioni di particolari caratteristiche delle aree bruciate, la metodologia strutturale può essere alla base di sistemi integrati per la realizzazione e l'aggiornamento del Catasto delle aree percorse dal fuoco previsti dalla Legge 21 novembre 2000, n. 353, e successive modifiche ed integrazioni, e per il monitoraggio del territorio comunale sotto l'aspetto della lotta agli incendi boschivi, popolando rapidamente di dati territoriali i GIS e permettendo la realizzazione diretta di mappe vettoriali. Ai fini della lotta contro gli incendi boschivi i sistemi così costruiti possono essere integrati con ulteriori dati monitorati così da consentire un'analisi in tempo reale del rischio incendi su tutto il territorio.

Bibliografia

Benediktsson J. A., Pesaresi M., Arnason K. (2003), "Classification and Feature Extraction for Remote Sensing Images From Urban Areas Based on Morphological Transformations", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,* Vol. 41, No.9.

Bianchin A., Pesaresi M. (1992), "Approccio strutturale all'analisi di immagine per la descrizione del territorio: una esplorazione degli strumenti di morfologia matematica", in *Atti del V Convegno Nazionale A.I.T.*, Milano, Italy, 25/29.

Cecamore P., Di Federico A., Paolini S. (2004), "Servizi di osservazione delle aree incendiate: le esperienze europee nel progetto GMES RISK-EOS", in *Atti della 8ª Conferenza Nazionale ASITA*, Roma.

Chirici G., Corona P., Travaglini D. (2003), "Sperimentazione di tecniche di classificazione object-oriented di immagini QuickBird a fini forestali", in *L'Italia Forestale e Montana*, Vol. n. 4 - *Atti del Workshop "Utilizzo di dati telerilevati per le statistiche di copertura del suolo negli ambienti forestali",* Firenze..

ITALSCAR (2003), *Burned Forest Mapping from Space - An Earth Observation service demonstration project in Italy - funded by the Data User Programme of the European Space Agency requested by the Italian Civil Protection Authorities*, Roma.

Barrile V., Bilotta G. (2007), "Metodologie "Strutturali" su immagini Satellitari per l'analisi Urbana e Territoriale", in *Atti della 11ª Conferenza Nazionale ASITA*, Torino, pp 267-272..

Köppen M., Ruiz-del-Solar J., Soille P. (1998), "Texture Segmentation by biologically-inspired use of Neural Networks and Mathematical Morphology", *Proceedings of the International ICSC/IFAC Symposium on Neural Computation (NC'98)*, ICSC Academic Press, Vienna, 23-25.

Marzano R., Bovio G. (2004), "Analisi dell'interfaccia urbano-foresta mediante dati telerilevati per la caratterizzazione del rischio di incendio boschivo", in *Atti della 8ª Conferenza Nazionale ASITA*, Roma.

Mitri G.H., I.Z. Gitas, 2006, "Fire type mapping using object-based classification of Ikonos imagery", in *International Journal of Wildland Fire*, 15, pp. 457-462.

Pesaresi M. (2000), "Texture Analysis for Urban Pattern Recognition Using Fine-resolution Panchromatic Satellite Imagery", in *Geographical & Environmental Modelling,* Vol. 4, No. 1, 43-63.

Serra J. (1998), *Image Analysis and Mathematical Morphology, Vol. 2,* Theoretical Advances, Academic Press, New York.

Soille P., Pesaresi M. (2002), "Advances in Mathematical Morphology Applied to Geoscience and Remote Sensing", *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 40, No.9.

METODO DI RILIEVO PER L'INDIVIDUAZIONE DI SINGOLE UNITÀ EDILIZIE CON TECNOLOGIA GIS-PDA

Vincenzo BARRILE (*), Giuseppe ARMOCIDA (**), Mario CAFARO (***)

(*) DIMET (Dipartimento di Informatica, Matematica, Elettronica e Trasporti) - Facoltà di Ingegneria
Università Mediterranea di Reggio Calabria - Via Graziella Feo di Vito 89100 Reggio Calabria
Tel +39 0965 875301, vincenzo.barrile@unirc.it.
(**) collaboratore esterno DIMET Via Graziella Feo di Vito 89100 Reggio Calabria, armocida.giuseppe@kosmosgis.it
(***) Kosmos s.a.s Via Paradisoni 51, 89816 Cessaniti fraz. Pannaconi (VV), Italy – cafaro.mario@kosmosgis.it

Riassunto

L'odierna produzione cartografica, specie quella numerica prodotta mediante rilievo aereofotogrammetrico, più o meno uniformata dalle disposizioni scaturite dai vari documenti di indirizzo del progetto *IntesaGIS,* contiene preziose informazioni inerenti le singole volumetrie edilizie. D'altro canto, queste importanti informazioni volumetriche non coincidono in maniera univoca ed assiomatica con il perimetro dei singoli edifici, infatti, seppur scontato che più unità volumetriche possono costituire una sola entità edilizia, non è sempre facile ricostituire a priori, in maniera deduttiva (da fotointerpretazione), l'esatta identificazione degli stessi.
Nel presente *paper* viene presentato un metodo che, tramite rilievi in situ con tecnologia PDA e successiva elaborazione in ambiente GIS, consente di cartografare con precisione variabile le singole unità edilizie ed inoltre permette di correlare alle stesse vari attributi quali-quantitativi.
La sperimentazione condotta, anche se basata su un rilievo a tappeto notoriamente costoso, ha sortito ottimi risultati sia da un punto di vista tecnico (integrazione di diverse strumentazioni di rilievo) che di rispondenza quali-quantitativa delle informazioni raccolte, andando a perfezionare ed ampliare in modo adeguato le informazioni contenute nei tradizionali DBT.

Abstract
Today's cartographic production, especially those produced by numerical aero-photogrammetric survey, more or less conformed from the generated dispositions from several documents of address of the IntesaGIS plan, contains precious inherent information single building volumetries. On the other hand, these important volumetric information don't coincide with the perimeter of single buildings in univocal and axiomatic way, in fact, though granted that more volumetric units can represent a single building entity, it is not always easy to reconstitute presumptive, in deductive way (photo-interpretation), the exact identification of them.
In the present paper it comes introduced a method that, through surveyes on the location with PDA technology and successive elaboration in GIS environment, concurs to map with variable precision the single building units and moreover it allows to correlate to them various qualitative and quantitative attributes.
The lead experimentation, even if based on a survey to well-known expensive carpet, has yielded optimal results both from a technical point of view (integration of various instruments of relief) and such quali-quantitative answer to the information collected, going to perfect and to widen in adequate way the contained information in the traditional DBT.

Introduzione

Una "costante base" per la buona riuscita di tutte le applicazioni GIS è come ovvio la qualità delle informazioni immesse nel sistema; infatti, è risaputo come una volta immessi i dati di base necessari al raggiungimento degli obbiettivi preposti spesso si tende ad affinare i dati di imput per avere un maggiore controllo dell'aspetto analizzato e/o gestito.

Per tutte le applicazioni di settore inerenti alla gestione delle realtà urbane a fini pianificatori e gestionali uno dei dati di imput imprescindibile è senza ombra di dubbio quello relativo agli edifici.

L'importanza delle informazioni di dettaglio per singoli edifici risulta utile innanzi tutto per tutte le fasi di pianificazione e programmazione degli interventi di recupero estetico strutturale; conoscere ad esempio con esattezza i dati a livello di singolo edificio dell'anno di costruzione, dei materiali costruttivi, delle condizioni statico strutturale etc., consentirebbe di effettuare una stima quanti/qualitativa e di definire le priorità degli interventi da porre in essere dalle amministrazioni locali impegnate ad esempio nella redazione di piani di recupero. Altre importanti informazioni quali il numero di piani, il numero di alloggi, il livello di servizi, la destinazione d'uso prevalente sarebbero utilissimi per la pianificazione e programmazione urbanistica generale e per i piani di settore, da quello dei trasporti ai piani di natura socio-assistenziale; inoltre, la definizione a livello di singolo edificio costituirebbe un dato molto importante per la gestione della fiscalità comunale.

Il dettaglio delle informazioni sopra accennato non può essere acquisito in maniera deduttiva dalle attuali cartografie tecniche di base, infatti, queste ultime restituiscono informazioni metriche sulle sagome edificate ma non consentono una definizione di dettaglio sui singoli corpi di fabbrica; inoltre le stesse non forniscono informazioni qualitative. E' evidente che per ottenere informazioni di dettaglio bisogna predisporre un'adeguata campagna di rilievo sul campo.

Nel presente contributo viene descritto un metodo di rilievo realizzato con strumentazione PDA capace di ottenere un duplice obbiettivo: identificare i singoli edifici costituenti isolati urbani e assegnarli caratteristiche quali quantitative specifici e distintivi l'uni dagli altri.

Alcune considerazioni preliminari: i dati di partenza

Prima di illustrare il "metodo di rilevo" sperimentato per l'individuazione degli elementi di interesse, è utile sottolineare alcuni aspetti in merito ai dati di base di cui normalmente si dispone per effettuare un classico rilevo su campo, vale a dire: cartografia numerica a diverse scale di restituzione con eventuale DBT e cartografia catastale; inoltre allo scopo potrebbero tornare utile ortofoto e foto aeree.

Nello specifico, la cartografia numerica se costruita secondo le varie direttive di indirizzo di *IntesaGIS* conterebbe preziose informazioni circa la definizione accurata dei singoli corpi costruiti, quali: le caratteristiche volumetriche dei vari volumi che compongono il corpo costruito, le cosiddette "unità volumetriche" ricavate dalla differenza tra quota di gronda e quota di piede, la tipologia di copertura, la tipologia edilizia, la destinazione d'uso, arrivando a distinguere le caratteristiche architettoniche quali balconi, scalinate, abbaini, loggiati o tettoie. Ne consegue che i corpi costruiti possono essere costituiti da una o più unità volumetriche e le stesse possono a loro volta essere aggregate per singoli edifici.

L'identificazione esatta dei singoli edifici, anche di quelli aggregati in isolato, costituirebbe una validissima base per le applicazioni di rilievo con strumentazione portatile (*poket* PC o PDA), nei termini in cui sarebbe molto comodo predisporre in questi ultimi la base cartografica in ambiente GIS e tramite specializzazione di apposite *form* di inserimento dati, l'operatore, potrebbe procedere con l'imputazione degli stessi; tale procedura permetterebbe un inserimento diretto dei dati nel "poligono" che identifica il singolo edificio.

Purtroppo si è constatato come nella produzione cartografica spesso le specifiche di *intesaGIS* non vengono seguiti in modo scrupoloso in fase di definizione di capitolato d'appalto (Barrile, Armocida, 2007) generando, come nel caso specifico, alcuni limiti circa l'esatta identificazione delle singole unità edilizie aggregati nelle diverse articolazioni tipologiche del tessuto urbano specie in aree densamente costruite come ad esempio i centri città o i quartieri periferici di grosse

dimensioni. Sicuramente la sovrapposizione del dato catastale fornisce un ottimo contributo ma come noto spesso tale integrazione non basta in quanto nella maggior parte dei casi le mappe catastali scontano uno scarso livello di aggiornamento; ne consegue che l'utilizzazione del dato catastale, a parte un preliminare ed impegnativo lavoro di sovrapposizione e di merge dei dati, non garantirebbe una corretta identificazione dell'unità edilizia.
In ragione di tali considerazioni, per evitare le incongruenze di natura informativa sopra riportate, si è implementato un metodo di rilievo indipendente dalla base cartografica; in altri termini, il rilevatore in campo, inserirà un apposito codice identificativo dell'unità edilizia (figura 1) con tutti gli altri dati correlati alla stessa e funzionali al rilievo da eseguire.

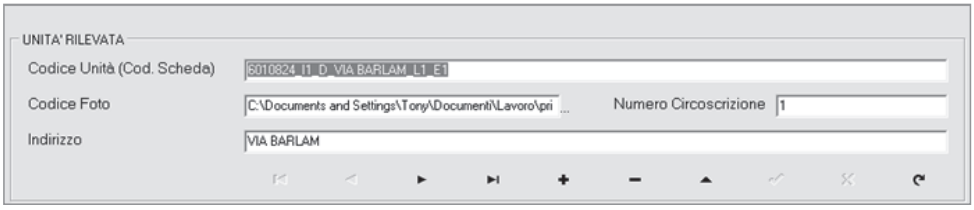


Figura 1 – Form del Software per PDA di inserimento codice identificativo dell'Unità edilizia

Il metodo implementato
Il salto metodologico proposto deriva dalla definizione di un criterio univoco per l'individuazione della singola unità da rilevare attraverso uno speciale codice identificativo, contenete in maniera implicita informazioni spaziali (localizzazione e topologia) dell'edificio medesimo.

Codice Foglio	Codice Isolato	Circuitazione	Nome/Codice Vie	Identificativo progressivo Lato	Identificativo progressivo Edificio

Tabella 1 – Composizione del codice identificativo

Il codice foglio ed isolato sono assegnati preventivamente (figura 2). La circuitazione (Valore "D" o "S") indica il verso seguito dagli operatori attorno all'isolato al momento del rilievo.
Il nome delle vie è utile ad identificare le vie la cui intersezione forma un punto in prossimità dell'isolato, a partire dal quale è effettuato il rilievo dei singoli edifici.
Gli Identificativi dei Lati e degli Edifici sono codici progressivi che indicizzano i Lati e gli Edifici ad essi afferenti. Nella Figura 1, a titolo di esempio, è schematizzata n edificio codificato con l'id 6010815_I377_D_VIA DE NAVA_VIA PRETI _L1 _E3 (figura 3).

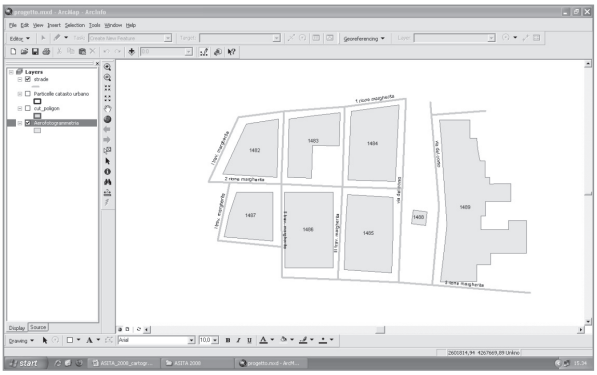


Figura 2 - Dati di base, identificazione degli isolati e grafo delle strade cittadine

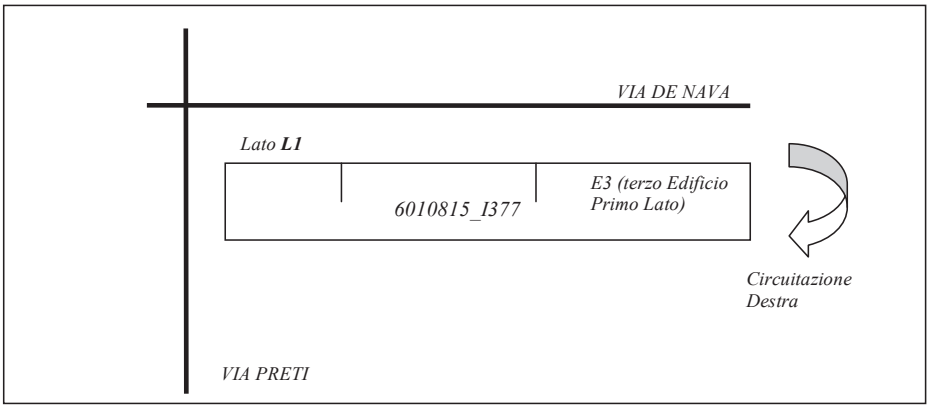


Figura 3 - Descrizione del codice identificativo isolato-edificio

Così come descritto, l'attività di campionamento sul posto in tal modo, riporta dati di natura spaziale "a precisione variabile" oltre ai dati alfanumerici (numero piani, interventi, restauro. ecc…). L'acquisizione di entrambe le tipologie di dati è necessaria, evidentemente, alla generazione di zonizzazioni tematiche.
La generazione di queste ultime è ottenuta in maniera semiautomatica: un software special-purpose integrato in ArcGIS genera il layer degli edifici utilizzando la particolare codifica vista e collega le singole unità alle corrispettive proprietà conservate in un Database Alfanumerico (RDMBS), in seguito attraverso l'utilizzo dell' SQL e/o di Query Spaziali l'utente potrà creare dei layers secondo i diversi tematismi desiderati.

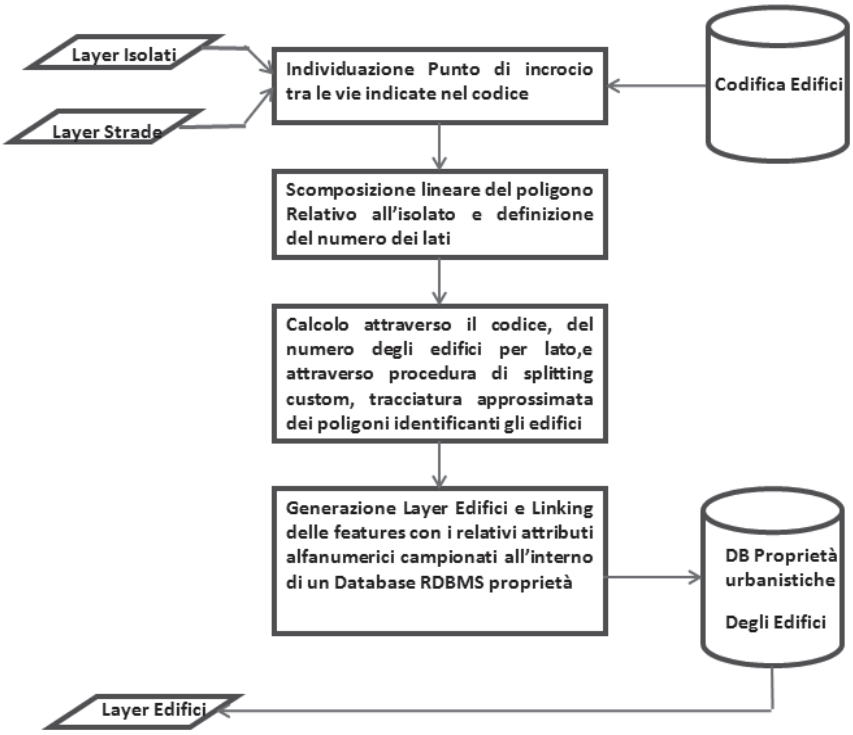


Figura 4 - Diagramma di flusso algoritmo di identificazione edifici in ambiente GIS

Il software di automazione produrrà come descritto un layer di edifici con approssimazione geometriche, ma coerenti coi confini dell'isolato (figura 5) e un link con il database alfanumerico delle relative proprietà, grazie al quale si potranno ottenere, a valle di query tipo Join, diversi tematismi, che possono essere esportate su layers appositi.

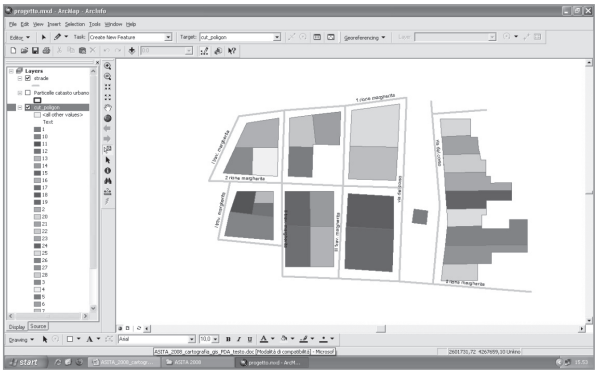


Figura 5 - Risultato del processamento del Layer isolati, generazione layer edifici

In fine va sottolineato che se sarà disponibile un layer geometrico degli edifici (figura 6) preciso (magari da rilievo catastale aggiornato). Infatti il software non creerà nuove "geometrie edificio", ma sarà utile per mappare dinamicamente i codici edifici con le entità edificio della nuova cartografia; in tal senso si è fatto riferimento al metodo di data entry per la componente topografica come ad un metodo di rilievo "a precisione variabile".

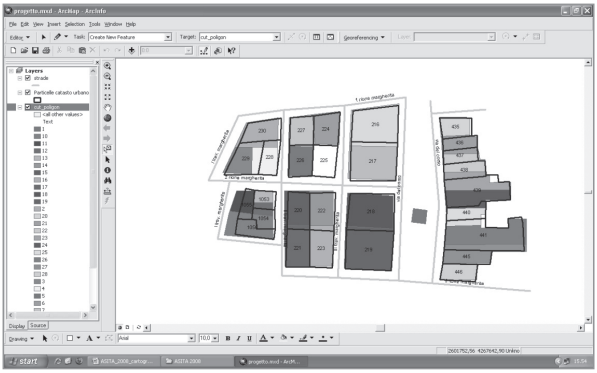


Figura 6 - Fase di omogeneizzazione del dato, sovrapposizione layer edifici con il layer catastale

Conclusioni

La sperimentazione ha permesso l'attribuzione delle caratteristiche degli edifici ottenendo buoni risultati in termini di precisione del rilievo e delle caratteristiche rilevate. Tale metodo trova quindi applicazione in situazioni di scarsa dotazione cartografica di partenza ed inoltre risulta utile anche per una fase di verifica la dove esistesse una cartografica numerica di elevato livello di dettaglio informativo.

Bibliografia

Barrile V., Armocida G**.** (2007), "Implementazioni Geodatabase da DBT: applicazioni in ambito comunale" Convegno Nazionale SIFET Arezzo. (acta CD-Rom).

Barrile V, Cotroneo F. (2004), "Algoritmi avanzati sui geodatabase", VIII ASITA, Roma (Italy), vol. 1, pp.295-299

Liguori F., Rossi M., Corongiu M. (2005), *La realizzazione del Data Base topografico secondo le specifiche IntesaGIS. Stato dell'arte emerso dagli incontri con Regioni ed Enti Locali, problemi aperti e primi approfondimenti* - C.I. Roma.

Comitato di coordinamento Intesa Stato Regioni Enti-Locali per i GIS, *Specifiche per la realizzazione dei Data Base Topografici di interesse generale - Specifiche di contenuto. Gli Strati, i Temi, le Classi*, 7 aprile 2004.

APPLICAZIONE SU TECNOLOGIA OPEN SOURCE PER L'AGGIORNAMENTO DELLA BANCA DATI CATASTALE

Vincenzo BARRILE (*), Francesco DI CAPUA (**), Gregorio SALIMBENI (***)

(*) DIMET (Dipartimento di Informatica, Matematica, Elettronica e Trasporti) - Facoltà di Ingegneria
Università Mediterranea di Reggio Calabria - Via Graziella Feo di Vito 89100 Reggio Calabria
Tel +39 0965 875301, vincenzo.barrile@unirc.it
(**) collaboratore esterno DIMET Via Graziella Feo di Vito 89100 Reggio Calabria, dicapua.francesco@kosmosgis.it
(***) collaboratore esterno DIMET Via Graziella Feo di Vito 89100 Reggio Calabria gregoriosalimbeni@vodafone.it

Riassunto
Uno dei temi tecnologici e organizzativi maggiormente utilizzati dalle Pubbliche Amministrazioni, ogni qual volta abbiano bisogno di relazionare dati o ricavare informazioni territoriali, è quello dell' utilizzo di sistemi GIS, dati geo spaziali e database georeferenziati. L'impiego di tale tecnologia risulta essere di fondamentale sostegno ai processi in atto concernenti il decentramento delle funzioni catastali ai comuni in ottemperanza del D.P.C.M. 14 giugno 2007.
Nell'ottica di tale processo, si propone una soluzione inerente al supporto della fase di transizione delle funzioni catastali dall'Agenzia del Territorio ai futuri gestori (singoli Comuni, Associazioni di Comuni, Comunità Montane) fornendo una procedura automatica di importazione e possibili aggiornamenti dei dati catastali.
La soluzione proposta, basata sull'utilizzo di strumenti e tecnologie open-source, ha consentito la sperimentazione di un prototipo che, attraverso la semplice richiesta della banca dati alfanumerica all'Agenzia del Territorio, fornisce ai comuni un applicativo che permette una gestione organizzata delle informazioni censuarie e amministrative dei terreni e dei fabbricati.

Abstract
One of the most used technological and organizational issues by public administrations, every time we need to report data or obtain spatial information, is that of 'using GIS, geo spatial data and geo-database. The use of this technology is essential to support the processes at work on the devolution of land to municipalities in accordance with the DPCM June 14 2007.
In this process, it proposes a solution regarding the support of the transition phase of the cadastral functions of the Agency land to the future managers (individual municipalities, associations of municipalities, mountain communities) providing an automatic import and possible upgrades of cadastral data. The proposed solution, based on the use of tools and open-source technologies, has allowed the testing of a prototype that, through simple application of the alphanumeric database from the Agency land, provides to the municipalities an application that allows an organized management of census and administrative informations of lands and buildings.

Introduzione

La gestione dei dati catastali rappresenta uno strumento strategico per le Amministrazioni locali per disporre delle informazioni utili ai Cittadini, imprese, liberi Professionisti e ai comuni per gli aspetti legati alla programmazione urbanistica, gestione dei tributi, gestione dei servizi in rete, etc. Ad oggi la gestione dei suddetti dati catastali viene effettuata attraverso dei software proprietari, che gravano sul bilancio del comune stesso. Consapevoli dell'importanza che tale gestione rappresenta per le PA,

nonché del dispendio economico, si è voluto sviluppare un prototipo di software con tecnologia open source in grado di gestire l'enorme mole di dati forniti dall'agenzia del territorio. Con il software Open Source, l'utente è libero di utilizzare, modificare e distribuire il software come meglio crede. Non ci sono vincoli dettati dalle licenze proprietarie, vincoli sul software ed eventuali modifiche strutturali che richiedono costi di aggiornamento continui, a volte obbligatori. L'applicativo è stato sviluppato in java per garantirne l'utilizzo su sistemi diversi (multipiattaforma), per la gestione dati si è scelto di utilizzare la soluzione Open Source più potente ed affidabile: PostGIS. Il database geografico, o geodatabase, è ormai una componente essenziale per le applicazioni GIS, in quanto permette l'accesso multiutente a grandi quantità di dati, sia geografici che alfanumerici, garantendone l'integrità.

Analisi e progettazione

La base dati alfanumerica fornita dall'Agenzia del Territorio, contiene tutte le informazioni catastali in un formato proprietario, pertanto l'utilizzo e la gestione degli stessi, prevede una fase di interpretazione e una fase di importazione tale da renderli accessibili a un qualunque DBMS open source. Tutte le informazioni estrapolate devono essere disponibili singolarmente, in modo da avere un controllo distinto e la possibilità di riutilizzo ove necessario. La procedura è stata sviluppata esclusivamente per le estrazioni di ogni singolo comune, tutte le altre estrazioni che aggregano in un'unica soluzione più comuni (soggetti per provincia, comuni per provincia e quanti altro) non sono gestibili . Nei documenti rilasciati dall' agenzia del territorio vengono evidenziate le tabelle, i tipi di record e i singoli campi con relativo tipo di dato.

Dall'analisi dei documenti si deduce che i file fabbricati, terreni, soggetti e titolarità hanno tracciato variabile e i singoli campi sono riempiti solo con i caratteri significativi separati mediante il carattere pipe (| codice ascii 126) che ne consente l'individuazione. Nel caso un campo non contenga alcun valore, nel record sarà riportato due volte il carattere separatore. Per chiarire meglio la struttura, riportiamo un esempio di file alfanumerico,interpretato con un editor di testo (fig. 1).

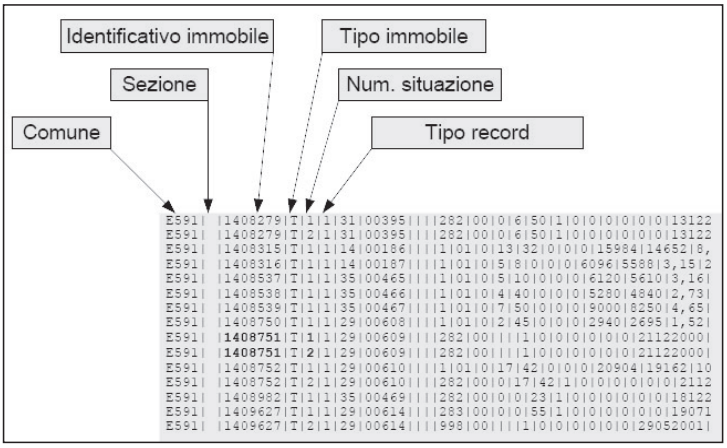


Figura 1 – Esempio di file alfanumerico

Ogni riga è identificata dal campo "tipo record" e la sua dimensione fissata nel numero di pipe contenute. Dunque righe appartenenti allo stesso "tipo record" devono avere la stessa dimensione. Durante la fase di importazione dei dati sono state individuate righe che pur appartenendo allo stesso "tipo record" presentavano una differente dimensione. Tutto ciò è in linea con le specifiche dettate dall' Agenzia del Territorio dove si evidenzia che " in presenza di più elementi di quelli previsti viene scritto un ulteriore record". La gestione di queste particolari righe è stata affidata ad

un metodo di calcolo che sfruttando la naturale tipologia del record di appartenenza ne gestisce le eccezioni.
Nella importazione dei dati (fig. 2) non è stato trascurato l'aspetto di verifica dell' integrità, infatti viene operata una procedura di conteggio delle righe e dei pipe su ogni file prima e dopo l'operazione di acquisizione. La fase di lettura delle righe e il conteggio delle pipe ha permesso di avere un riscontro tra i dati forniti e i dati estratti, in modo tale da evitare possibili errori causati da perdite di informazioni. Le righe identificate dallo stesso " tipo record" sono state decifrate, aggregate e importate nella medesima tabella.
Le informazioni sono state trasferite su diversi file, conteggiando e sommando le righe e il risultato confrontato con le righe presenti nel file originale.



Figura 2 – Form di import dei dati catastali

La fase di importazione dei dati, deve essere supportata da un attenta relazione degli stessi. Tutte le tabelle create dovranno essere relazionate secondo dei criteri precisi, in modo da ottenere una risposta efficace e corretta da parte del sistema stesso (fig. 3).
Le unità immobiliari di un comune, contenute nel file di estensione .fab, si collegano alle relative titolarità mediante il campo che identifica l'immobile e il tipo di immobile. Le particelle di un comune, contenute nel file di estensione .ter, si collegano alle relative titolarità mediante i campi che identificano l'immobile e il tipo di immobile. I soggetti di un comune si collegano alle relative titolarità mediante i campi che identificano il soggetto e il tipo di soggetto, valorizzando quest'ultimo campo con il tipo record del soggetto esaminato
Le informazioni inerenti le titolarità di un comune si collegano ai soggetti attraverso i valori dei campi che identificano il soggetto e il tipo di soggetto valorizzando quest'ultimo con il valore contenuto nel campo tipo soggetto della titolarità esaminata. Le titolarità referenziate nei file .fab e .ter sono presenti nel file .tit solamente in particolari casi. Analoga situazione si riscontra per gli immobili referenziati nel file .tit.
I soggetti referenziati nel file .tit risultano sempre presenti nel file .sog

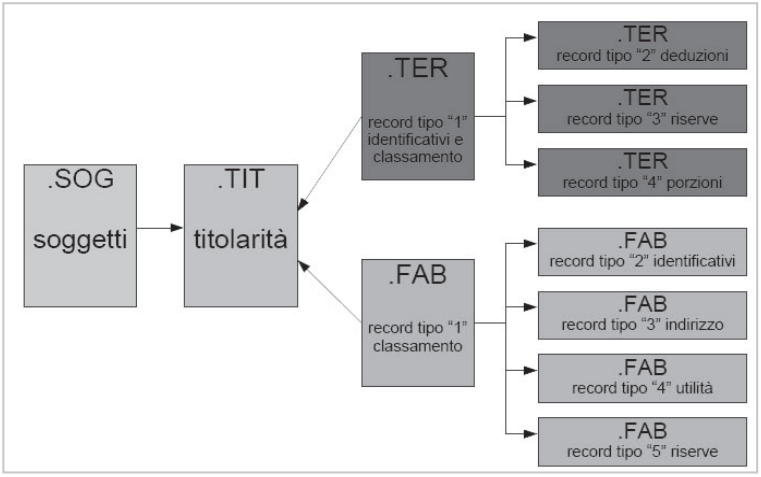


Figura 3 – Schema delle relazioni tracciati dati catastali

Conclusioni

In virtù del decentramento delle funzioni catastali agli Enti locali, il Laboratorio di Geomatica, nell' ambito della ricerca applicata sull'informatizzazione dei processi gestionali PAL, ha sviluppato un prototipo per supportare, visti i costi eccessivi dei software proprietari, i piccoli e medi comuni. L'importazione dei dati catastali ha permesso la creazione di una banca dati proprietaria dell' intero patrimonio immobiliare e non. Tale banca dati realizzata con DBMS Postgis, sarà disponibile per applicativi GIS open source al fine di sviluppare calcoli incrociati, statistici, interrogazioni etc. Il prototipo sviluppato basato proprio su questa base di dati permette la gestione di qualsivoglia valore legato al DB catasto e il controllo del territorio in modo diretto. I comuni stessi potranno monitorare il territorio con sistemi open source potenti e affidabili, apportare modifiche alla struttura territoriale tramite un monitoraggio sempre attivo.

Bibliografia

Annovi C.(2006), "Un sistema di gestione completo dei dati comunali", *MondoGIS*, 53: 15-18
Bigatti M.(2005), *Java e Open Source*, Tecniche Nuove
Bertacca M, Guidi A.(2007), *Programmare in Java*, McGraw-Hill Companies
De Rosi G, Iovine A.(2003), *Il Catasto Edilizio Urbano*, Sistemi Editoriali - Esselibri
Fisher T. R.(2007), *Java. Codice e comandi essenziali*,Pearson Education Italia
Gaspani R, Fabrizi C., Deligios M.(2000), "Sistema Informativo Territoriale integrato Comune-Catasto", *MondoGIS*, 43: 39-43
Iovine A.(2007), *La gestione del Catasto ed i Comuni*, Sistemi Editoriali
Napolitano M, Venturato E. (2005), "PostGIS:il database geografico Open Source", *MondoGIS*, 49: 63-67
Polizzi B.(2005), *Il classamento dei fabbricati urbani, industriali, rurali e aggiornamento catastale*, Flaccovio Dario
Schildt H.(2005), *Fondamenti di Java*, McGraw-Hill Companies
Venturato E. (2008), *PostgreSQL/PostGis il geodatabase libero*, Faunalia, 1-22
Vernice M. (2003), *Multi-Gis*, GRAFILL Editoria Tecnica
Worsley John C., Drake Joshua D. (2002), *Manuale pratico di PostgreSQL*, Edizione Hops Libri

SOVRAPPOSIZIONE E CONFRONTO FRA LA PRIMA CARTOGRAFIA IGM E LA CARTOGRAFIA ATTUALE

Riccardo BARZAGHI (*), Daniela CARRION (*), Renzo MASEROLI (**)

(*) Politecnico di Milano, DIIAR sezione Rilevamento
(**) Istituto Geografico Militare, Servizio Geodetico

Riassunto esteso

Presso l'Istituto Geografico Militare sono disponibili numerose carte storiche risalenti alla fine del 1800, alla prima produzione cartografica dell'Istituto, successiva all'unificazione italiana. E' interessante, visto il patrimonio storico a disposizione, valutare l'evoluzione del territorio, relativamente a quei particolari individuabili sia nella cartografia storica che in quella moderna. L'utilizzo all'interno di un Sistema Informativo Geografico delle carte storiche digitalizzate e georeferenziate permette un confronto diretto con la situazione attuale, rappresentata dalla cartografia e dalle immagini telerilevate georeferenziate, per una valutazione dell'evoluzione del territorio da parte di storici e pianificatori.

Per questo lavoro sono state considerate alcune carte in scala 1:100000 e 1:25000 della fine del 1800 e le corrispondenti carte recenti, risalenti agli anni 1950-1970, tutte scannerizzate con una risoluzione di 150 o 300 dpi. E' stato individuato un insieme di circa 20 punti per ogni carta antica, corrispondenti a elementi naturali o dell'urbanizzazione, in modo che per ogni punto fosse localizzabile l'omologo nella cartografia più recente.

Presso l'IGM sono già state stimate possibili trasformazioni tra il sistema di rappresentazione delle carte del 1800, ellissoide di Bessel e il sistema cartografico nazionale attuale, il Datum Roma40, in particolare in questo lavoro sono state considerate le equazioni individuate da Boaga e sviluppate da Jordan (Jordan, Eggert 1941).

Tali trasformazioni sono state applicate alle coordinate dei punti posizionati sulle carte antiche. Le coordinate trasformate sono state confrontate con le corrispondenti individuate sulle carte più recenti. A questo punto è stato possibile valutare il campo di deformazioni residuo e le accuratezze ottenibili. Il campo delle deformazioni residue a valle della trasformazione presenta dei sistematismi che vanno ulteriormente indagati, le medie e le deviazioni standard dei residui sono dell'ordine di grandezza dei 50-100 m per le carte in scala 1:100000, si hanno invece medie di 20-40 m e una deviazione standard inferiore al metro per la carta in scala 1:25000. L'accuratezza della trasformazione è quindi fuori dalla tolleranza delle carte, tuttavia è sufficiente per poter fare su di esse delle considerazioni sull'evoluzione del territorio nel tempo. A questo scopo si è proceduto a sovrapporre le scansioni delle carte utilizzando le funzioni di georeferenziazione disponibili nel software ArcView®. Già utilizzando una trasformazione semplice come la trasformazione affine la sovrapposizione fra le carte antiche e recenti è apparsa buona.

Georeferenziando in un sistema comune carte di epoche diverse è possibile costituire un database che può essere di ausilio a diversi studiosi del territorio, per esempio per valutare l'evoluzione temporale dell'uso del suolo e dell'urbanizzazione, oppure per permettere agli storici di individuare toponimi scomparsi o modificatisi nel corso del tempo. E' possibile anche fare alcune considerazioni relative alle modifiche di elementi naturali del territorio, come ad esempio la modifica di un tratto di costa o del corso di un fiume. In particolare dalla carta in scala 1:25000, raffigurante il corso del fiume Po nella zona di Piacenza, sono emerse alcune variazioni interessanti:

è necessario approfondire la natura di queste variazioni, che possono in parte essere legate alle modalità di rappresentazione.
In conclusione è stato interessante rilevare come, nonostante le differenze dovute alle modalità di realizzazione delle carte moderne e delle carte storiche, la sovrapposizione delle due permetta di osservare, e in qualche caso quantificare, le modifiche subite dal territorio in un arco temporale che abbraccia oltre un secolo. Ci si propone di proseguire lo studio delle modalità di trasformazione per portare le carte antiche e moderne in un sistema di rappresentazione comune e di analizzare e, possibilmente, eliminare i sistematismi dai residui delle trasformazioni.

Bibliografia

AA. VV. (2005), GPS Guida all'uso del GPS per il rilevamento del territorio e l'aggiornamento cartografico – Ambiente & Territorio - Maggioli – Repubblica di San Marino.

Bencini B. (1985), *Appunti di cartografia*. Ed IGM Collezione testi didattici.

Boaga G. (1948), Trattato di Geodesia e Topografia. CEDAM, Padova

W. Jordan, O. Eggert. (1923-1941), *Handbuch der Vermessungskunde*. 6 v. Stuttgart – J.B. Metzlersche Verlagsbuchhandlung.

WEB-GIS/WEB SERVICES OPEN SOURCE PER I SERVIZI DELL'UTC: "IL CERTIFICATO DI DESTINAZIONE URBANISTICA ON-LINE"

Carmine BASCO (*), Gaetano DE NIGRIS (*), Gennaro FLORIO (*), Fabio MUOLLO (*)

(*) Geosystems Group S.r.L., Via S. Mariani snc, Benevento, tel. +39 0824323811
fax +39 0824357078, info@geosystemsweb.com

1. Riassunto

A seguito dell'approvazione definitiva del nuovo Piano Urbanistico Comunale del Comune di San Giorgio del Sannio (BN), si è pensato di rendere fruibile attraverso *internet* i nuovi regimi di edificabilità dei suoli e di permettere di generare in maniera automatica il Certificato di Destinazione Urbanistica.
Il servizio è stato realizzato attraverso un *WEBGIS Open Source* basato sul *framework Cartoweb* e inserendo i dati in un *Geodatabase* PostgreSQL/PostGIS.
Il risultato della generazione del CDU è un documento contenente l'indicazione, per ogni particella ricercata, dell'informazione sulla destinazione urbanistica nonché di tutta la vincolistica; il sistema riporta la misura della superficie per ogni zona sia in percentuale che in mq.
E'attualmente in corso l'integrazione diretta dei tracciati *record* del *software* Catasto2000 (Agenzia del Territorio) e di un servizio *webservices* finalizzato all' interoperabilità tra Enti.

2. Abstract

The town of San Giorgio del Sannio (BN) approved a new Urbanistic Plan, later this it is decided to supply via internet a new building ability of each zone and to allow to produce in automatic way the Certificate of Urbanistic Destination.
The service has been realized through a WEBGIS Open Source based on the framework Cartoweb and a Geodatabase PostgreSQL/PostGIS.
The result of the generation of the CDU is a document with the indication, for cadastral parcel, about urbanistic destination and constrains; the system brings the measure of the surface for every zone both in percentage that in square metres.
The direct integration of the software Catasto2000 (Agenzia del Territorio) is in progress as that of a webservices finalized to the interoperability among Administrations.

3. Problematica

Il Comune di San Giorgio del Sannio (BN) ha approvato nel corso di dicembre 2007 in via definitiva il nuovo Piano Urbanistico Comunale (PUC).
A seguito di ciò si è pensato di rendere fruibile ai cittadini e ai professionisti, attraverso un Portale Cartografico pubblicato via *internet*, i nuovi regimi di edificabilità dei suoli relativi alle particelle catastali del Catasto Terreni, e di permettere agli addetti dell'Ufficio Tecnico Comunale (UTC) di generare il Certificato di Destinazione Urbanistica (CDU) in maniera più rapida e precisa, soprattutto in considerazione della maggiore complessità del nuovo PUC rispetto al vecchio PRG (in rif. Legge Urbanistica Regione Campania n.16/2004).
La Geosystems Group ha deciso di utilizzare tale esperienza sperimentale, grazie anche alla disponibilità dell'Amministrazione Comunale[1], come pilota per la successiva realizzazione dei

[1] dott. Giorgio Nardone – Sindaco del Comune di San Giorgio del Sannio

servizi urbanistici da implementare presso il CST (Centro Servizi Territoriali) Consorzio Sannio.it ove il bacino d'utenza supera i cinquanta comuni e comprende ben quattro comunità montane. L'analisi di fattibilità svolta presso l'UTC del Pilota ha evidenziato alcune criticità evidenti, in primis l'aumento del numero di vincoli da tener conto nell'emissione della certificazione. Tale parametro influenzava preponderantemente i tempi di emissione a tutela del dirigente che avrebbe siglato il CDU richiesto. Inoltre, piccoli errori di valutazione avrebbero agevolato o penalizzato economicamente il contribuente richiedente che si sarebbe potuto rivalere sull'Amministrazione.
L'analisi ha inoltre chiarito le necessità urgenti, non solo del dirigente[2] a capo dell'UTC, ma di tutto il gruppo tecnico che insieme al *team* aziendale, costituito dagli autori del presente articolo, ha stilato i requisiti del nuovo prodotto *SW* per l'emissione del CDU o semplicemente CDU-WEB.
In effetti le caratteristiche immediatamente richieste sono state la riduzione dei tempi di emissione, la possibilità del *multi-client*, l'aggiornabilità frequente del dato catastale, la consultazione rapida del loro nuovo strumento urbanistico.
Tutto questo è chiaramente traducibile in un Sistema Informativo Territoriale (SIT) tematizzato per il settore urbanistico con l'aggiunta di reportistica creata *ad hoc* per l'emissione dei certificati ed accessibile, sia in intranet che internet, attraverso un *WEB-GIS* potenziato.
Lo sforzo richiesto dal *team* è stato invece quello di pensare ad un servizio multi-Ente, facilmente integrabile in altre piattaforme di servizi, che nascondesse la complessità computazione dovuta all'*overlay* topologico dei vincoli e consentisse in forma protetta la rapida accessibilità alle informazione di frequente utilizzo.

4. Metodologia

Per il conseguimento degli obiettivi ricercati si è realizzato un servizio accessibile attraverso *WEB-GIS*, all'interno del Portale dell'Unione dei Comuni dei Santi Sanniti (BN), contenente oltre agli strati informativi relativi al PUC (zonizzazione, vincoli, ecc.) anche quelli propri del Catasto Terreni (particelle, fabbricati, ecc.).

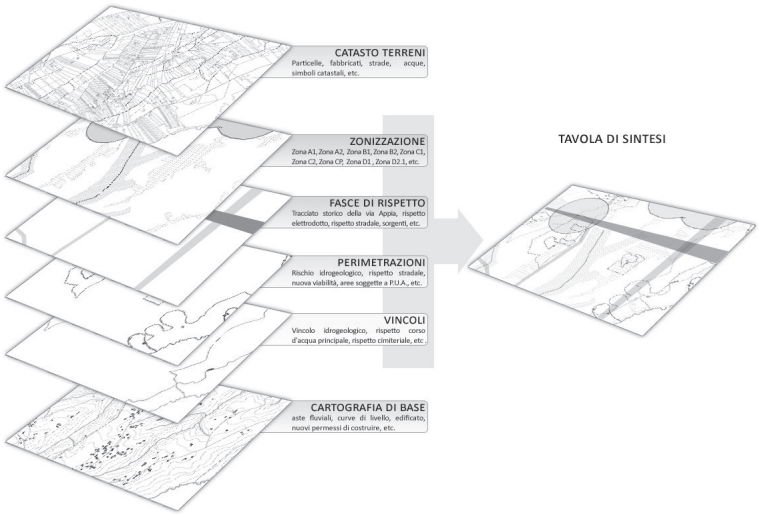


Figura 1 –Tematismi presenti nel SIT

La figura 1 mostra lo sforzo di sintesi effettuato in fase di sviluppo ove si è tenuto conto di comprimere i layer dei vincoli in fase di sovrapposizione lasciando fuori il solo strato catastale. In effetti il PUC, a meno di varianti nel lungo periodo, non dovrebbe subire variazione, cosa non vera per il dato catastale soggetto a variazioni con frequenza giornaliera.

[2] arch. Mario Fusco

Le procedure create per l'UTC hanno permesso di utilizzare rapidamente il Portale del Comuni dell' Agenzia del Territorio, per lo scarico degli aggiornamenti in mappa ed il successivo *ingest* in PostGIS assolvendo al requisito utente di aggiornabilità dei fogli catastali.
Inoltre l'aver fuso in un unico *layer* tutti i vincoli consente in fase di interrogazione di diminuire la complessità computazione (tempi) semplificando la *query* ad una semplice *INTERSECT* tra questo ed il *layer* delle particelle catastali.

La *query* di figura 2 verifica se la particella richiesta si trova in una zona PUC

```
SELECT gid FROM public.$tablePuc WHERE Intersects(the_geom,(SELECT
the_geom FROM public.$tableCatastoTerre where foglio='$numFoglio'
and particella='$numPar'))
```

Figura 2 - Query SQL

La *query* di figura 3 calcola l'area PUC della particella

```
SELECT area(intersection((SELECT the_geom FROM
public.$tableCatastoTerre WHERE foglio='$numFoglio' AND
particella='$numPar'),(SELECT the_geom FROM public.$tablePuc WHERE
gid='$gid'))) AS area_zona
```

Figura 3 - Query SQL

Risolto il problema dei vincoli si è analizzato in modo precipuo come abbattere la soglia d'errore relativa al dato catastale. Anche qui il *team* in collaborazione con i tecnici che hanno[3] redatto il PUC hanno ripercorso l'intero mappale rivisitando, secondo le direttive SOGEI per la digitalizzazione, l'insieme del quadro d'unione dei fogli effettuando una stima del possibile errore di calcolo del CDU. In effetti le potenzialità offerte da PostGIS ci consentono di emettere un CDU numerico con la specifica della zonizzazione in mq. Tale precisione dello strumento software spaventa gli addetti ai valori abituati a dare parametri valutativi, "la maggior parte di" o spingendosi oltre andando a fornire una stima grossolana in percentuale. Anche in questo caso la soluzione adottata, dal *team* in ottica di scalabilità del sistema, è stata l'introduzione di un *flag* di configurazione nel *database* direttamente editabile dall'amministratore del sistema che potesse immediatamente far scegliere il formato valutativo da mettere sul certificato, eliminando eventuali rigidità e donando flessibilità al sistema.
L'architettura completa del sistema *software* vede un *WEB-GIS* realizzato personalizzando il *framework Open Source* Cartoweb (basato su UNM Mapserver) mentre i dati utilizzati (digitalizzati in formato ESRI shapefile) sono stati inseriti in un *Geodatabase* PostgreSQL/PostGis.

[3] arch. Costantino Furno e arch. Nicola Mucci

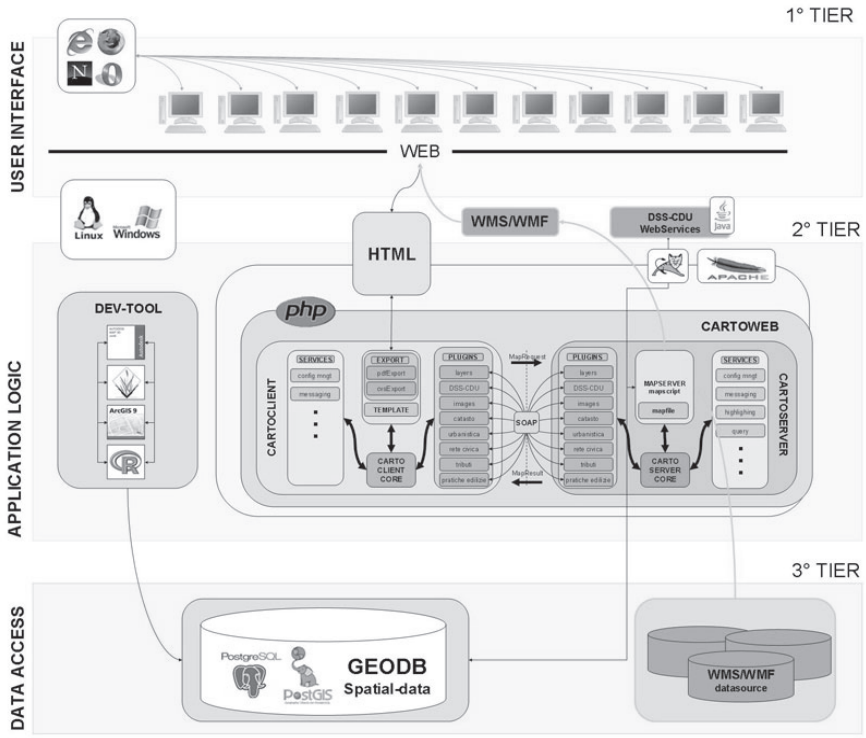


Figura 4 - Architettura

Dall'architettura di figura 4 si evince l'apertura che il sistema *GIS* implementato ha verso la multiutenza e la relativa interoperabilità, obiettivo del *team* per il CST. La porta *webservices* è la naturale *consecutio* per questa tipologia di servizio, infatti come si vedrà innanzi nella creazione del CDU l'utente non necessita di un *WEB-GIS*, strumento richiesto per la pubblicazione del PUC e ricerca delle particelle catastali. L'operatore attraverso semplici schermate *web* con *form* e menu a scelta multipla compone la sua richiesta e vede la generazione di un documento elettronico direttamente stampabile formattato con il logo e *template* del proprio Ente.
All'interno del *WEB-GIS*, scelto anche come strumento di pubblicazione del Piano Urbanistico Comunale, è stato realizzato un plug-in in linguaggio *PHP/PostGIS* con il quale l'utente dell'UTC genera il CDU via *WEB*. Le schermate che appaiono all'utente che richiede di generare il CDU sono rappresentate in figura 5.

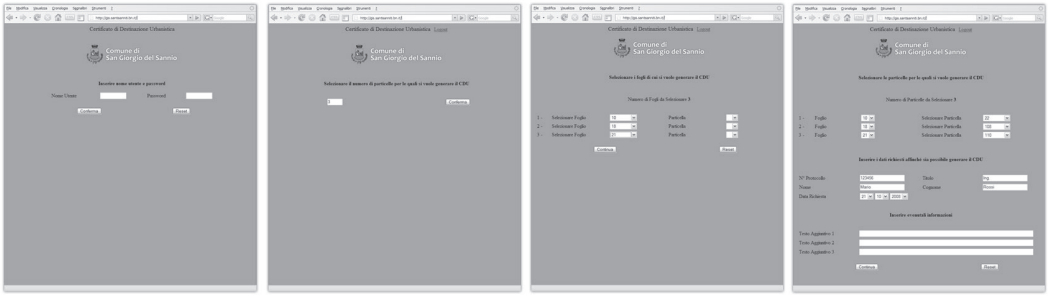


Figura .5 - Schermate di richiesta del CDU

Le immagini in figura 6 mostrano il *Flow chart* di richiesta del CDU.

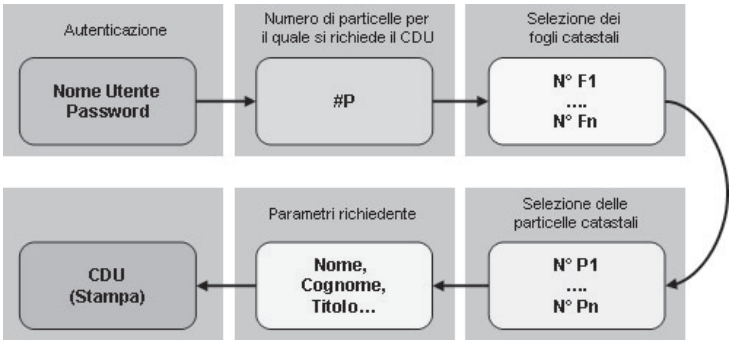


Figura.6 - Flow chart di richiesta del CDU

Le fasi tre e quattro della figura 6 sono assistite dal sistema, vengono precaricati dei menu a tendina sia la lista dei fogli che l'elenco delle particelle esistenti, in questo modo non vi sono necessità di controllo del valore immesso dall'utente e soprattutto il database viene normalizzato inizialmente evitando l'inconsistenza dei dati come particelle doppie etc.
Oltre questo, il *framework* è stato integrato con numerosi altri plug-in che permettono di agevolare il lavoro dei tecnici dell'UTC, come ad esempio la possibilità di effettuare *query* grafiche (figura7) inserendo gli identificativi catastali in formato testuale o anche personalizzando le normali funzioni di stampa adattandoli ai *template* comunali.



Figura.7 Visualizzazioni del WEBGIS e query

5. Risultati

Il sistema permette agli utenti autorizzati dell'UTC di collegarsi al portale cartografico (http://gis.santisanniti.bn.it) e di procedere alla generazione del CDU ovunque essi si trovino, ovviamente il servizio è pensato per estenderlo a tutti i cittadini che nell'immediato futuro con la tanto attesa CIE (Carta d'Identità Elettronica) potrebbero facilmente autenticarsi e gestire da casa il servizio.

Il CDU viene generato partendo dall'inserimento degli identificativi catastali in semplici *textbox* ed il risultato è un documento CDU pre-formattato (figura 8) contenente l'indicazione, per ogni particella ricercata, dell'informazione sulla destinazione urbanistica nonché tutta la vincolistica; ad esempio nel caso in cui una particella ricade in più zone, il sistema riporta la misura della superficie per ogni zona sia in percentuale che in mq.



Per procedere alla stampa del certificato premere sull'icona di stampa

COMUNE DI SAN GIORGIO DEL SANNIO

Tel. 0824-334911 --- Provincia di Benevento --- Fax 0824-337270

www.comune.sangiorgiodelsannio.bn.it

N° Reg. _____

IL RESPONSABILE DELL'UFFICIO TECNICO
SETTORE URBANISTICA - LAVORI PUBBLICI

VISTA la richiesta del **Ing. Mario Rossi**, in data **04-09-08**, protocollo n. **123456**, con la quale si chiede il rilascio di un certificato di destinazione urbanistica;
VISTA la legge n. 47 del 20.02.1985;
VISTI gli atti d'ufficio (P.U.C.);

C E R T I F I C A

che le aree site in S.Giorgio del Sannio, ricadono nelle zone di seguito elencate:

- Particella n. **22** Foglio n. **10** è per circa mq **43450** in ZONA E2.2 - Territorio rurale a prevalente destinazione produttiva - Area seminativa., e la restante area è in ZONA E1.4 - Confluenze dei corsi d'acqua minori - Art. 29 P.T.C.P.;
- Particella n. **108** Foglio n. **18** è per circa mq **160** in ZONA D5 - Territorio periurbano urbanizzato ad usi misti è per circa mq **3070** in ZONA E2.2 - Territorio rurale a prevalente destinazione produttiva - Area seminativa., e la restante area è in ZONA E2.1 - Territorio rurale a prevalente destinazione produttiva - Area boschiva.;
- [illegible] per circa mq **60** in ZONA - Viabilità è per circa mq **3** in ZONA E2.2 - Territorio rurale a [illegible] seminativa., e la restante area è in ZONA E1.5 - Aree [illegible] 92.2d3 P.T.C.P.;

) certificazione sui requisiti dei principali [illegible] ergetico;
c) tutte le pareti esterne dovranno essere com[illegible]enti e con caratteristiche di accumulazione, di coibenza e smorzamento;
d) posizionamento di essere arboree per il raffrescamento e la schermatura dal vento e dalla radiazione solare estiva.

Si rilascia per gli usi consentiti.

San Giorgio del Sannio, li 4 Settembre 2008

IL RESPONSABILE DELL'U.T.C.

Figura .8 – Certificato generato

Il sistema ha permesso, inoltre, agli utenti dell'UTC di individuare le aree che hanno mutato destinazione urbanistica e quindi modificato il loro valore ai fini del calcolo dell'ICI, tali caratteristiche lo promuovono di fatto nella categoria dei sistemi di supporto decisionale, infatti il nome commerciale scelto dalla Geosystems Group è *DSS*-CDU.
Il *team* di sviluppo ha tutt'ora in corso l'ampliamento delle sue funzionalità, ad oggi è stato implementato le procedure per l'aggiornamento dei dati attraverso il *download* dal Portale dei Comuni dell'Agenzia del Territorio. Inoltre lo sviluppo sta perseguendo due principali direttive, la prima è l'integrazione diretta dei tracciati *record* di Catasto2000, oggi in *testing*, al fine di ampliare le informazioni da correlare alla particella catastale, la seconda è l'esposizione di un servizio *webservices* precedentemente presentato che consolidi il concetto di interoperabilità tra Enti. L'accessibilità a tale servizio sarà disponibile con lo *start-up* nel CST della Provincia di Benevento.

6. Bibliografia

Mapserver sito web ufficiale (2007) Documentation http://mapserver.gis.umn.edu
CartoWeb sito ufficiale (2007), CartoWeb3 Documentation http://www.cartoweb.org
PostgreSQL sito ufficiale (2007), PostgreSQL Documentation, http://www.postgresql.org
PostGIS sito ufficiale (2007), PostGIS Documentation, http://postgis.refractions.net
Coianiz T., Guzzetti F.(2003), "WebGis quale strumento di e-government per l' amministrazione comunale", Atti Conferenza ASITA, Verona, 28-31 ottobre 2003.

ANALISI DELLA CORRELAZIONE TRA INDICI DI DIVERSITÀ A SCALA DI PAESAGGIO E DIVERSITÀ FLORISTICA

Giuseppe BAZAN, Rosario SCHICCHI, Giuseppe BAIAMONTE

Dipartimento di Scienze Botaniche dell'Università di Palermo, via Archirafi n. 38, 90123 – Palermo
Email: gbazan@unipa.it, schicchi@unipa.it, gbaiamonte@gmail.com

Riassunto
Nel presente contributo sono stati confrontati i valori di alcuni indici di diversità e di equitabilità, che forniscono valori sulla struttura del mosaico territoriale, con dati reali sulla diversità floristica, utilizzando come caso studio il Parco delle Madonie in Sicilia.
Dalle elaborazioni statistiche effettuate non è emersa alcuna correlazione tra gli indici di diversità utilizzati a scala di paesaggio e la biodiversità a livello specifico

Abstract
Diversity and evenness indexes, which grant valuable information on land mosaic structure, were compared to actual data on floristic diversity, using the Parco delle Madonie (Sicily) as a case study. Statistic analysis demonstrated no correlation between landscape scale diversity indexes and biodiversity (species richness).

Introduzione

L'ecologia del paesaggio impiega spesso indici sintetici per l'analisi del mosaico territoriale. Tra questi, gli indici di diversità e di equitabilità sono stati ampiamente utilizzati in una grande varietà di studi ecologici. Il calcolo di questi indici si basa essenzialmente sui tipi di patches presenti nell'area di studio e sulla superficie coperta da ogni tipologia. In particolare, l'indice di diversità di Shannon, tradizionalmente impiegato nell'ecologia delle comunità per valutare come le singole specie contribuiscano alla diversità totale della vegetazione, è stato applicato anche negli studi sul paesaggio, dove viene utilizzato per stimare la diversità del mosaico territoriale in ragione delle patches che lo compongono. L'indice di diversità di Simpson utilizza lo stesso modello concettuale, ma è meno sensibile alla presenza dei tipi di patches poco frequenti anche se di più facile interpretazione (il range di valori possibili varia tra 0 e 1). Gli indici di equitabilità, invece, prendono in considerazione non i tipi di patches ma la distribuzione della superficie all'interno di esse.
Questo approccio analitico fornisce valori numerici astratti la cui correlazione con il dato reale di biodiversità resta da verificare. Infatti, non è facilmente dimostrabile una relazione diretta tra l'eterogenetà a scala di paesaggio e la biodiversità (intesa in senso quali-quantitativo).
Sebbene il calcolo degli indici di diversità e di equitabilità offra certamente informazioni utili alla comprensione della struttura del paesaggio, non è sempre vero che ad un mosaico territoriale maggiormente diversificato corrisponda una maggiore biodiversità a livello specifico.
Scopo del presente contributo è quello di confrontare il valore di alcuni indici di diversità con dati reali sulla biodiversità vegetale. Come caso studio è stato scelto il Parco delle Madonie in Sicilia.

Metodologia

Tutte le elaborazioni sono state effettuate all'interno di un sistema informativo territoriale specificamente predisposto in ambiente ESRI ArcGIS. I dati floristici sono stati ricavati dalla carta del paesaggio e della biodiversità vegetale del Parco delle Madonie (RAIMONDO & al., 2004).

Si tratta di uno dei territori a più elevata biodiversità del bacino del Mediterraneo. Infatti, in una superficie di 40.000 ettari, pari all'1,55% di quella della Sicilia, si riscontrano circa 1.500 taxa specifici ed infraspecifici. Si tratta di un cospicuo e diversificato patrimonio biologico equivalente a circa il 47% di quello presente in tutta la Regione. L'endemismo consta di 170 entità, valore corrispondente a circa il 38% di quello dell'intera Isola.

La diversità floristica è stata rappresentata cartograficamente, da RAIMONDO & al. (2004), mediante una carta a reticolo, costituita da 16 quadranti estesi circa 4.000 ettari, secondo la metodologia proposta, in Italia da PIGNATTI (1978).

Per ogni quadrante, si è proceduto all'estrapolazione della geometria e della tipologia delle patches, – avvalendosi dalla versione digitale della carta del paesaggio vegetale – ed è stato calcolato lo Shannon's Diversity Index, lo Shannon's Evennes Index (SHANNON & WEAVER, 1949), il Simpson's Diversity Index ed il Simpson's Evennes Index (SIMPSON, 1949). Gli indici, calcolati utilizzando il software FRAGSTATS 3.3 (MCGARIGAL & al., 2002), sono stati confrontati con i dati disponibili sul numero di taxa e sul numero di endemiti presenti in ogni quadrante.

Risultati

Dalle elaborazioni statistiche effettuate non è emersa alcuna correlazione tra gli indici di diversità utilizzati a scala di paesaggio e la diversità floristica risultante dal censimento dei taxa presenti in ogni singolo quadrante. In particolare, dall'analisi statistica sui dati normalizzati e dall'impiego del coefficiente di correlazione di Bravais-Pearson, non è stato possibile individuare né una correlazione di tipo lineare – che sarebbe stata quella attesa – né di tipo logaritmico. Come si può osservare nei diagrammi presentati, gli indici di diversità assumono valori estremamente variabili anche per aree aventi un numero di specie e di endemiti molto simile, pertanto paragonabili dal punto di vista della biodiversità specifica. Inoltre, ai valori più alti degli indici non corrisponde mai il numero più elevato di specie (e lo stesso vale per i valori minimi). Per quanto concerne gli indici di equitabilità, l'andamento è tendenzialmente analogo a quello degli indici di diversità ed anche in questo caso non si ravvisa alcuna correlazione.

Dalle analisi effettuate si desume, pertanto, che gli indici considerati possono essere utili per misurare la diversità del mosaico territoriale a livello di paesaggio, ma non consentono di esprimere valutazioni sulla biodiversità specifica.

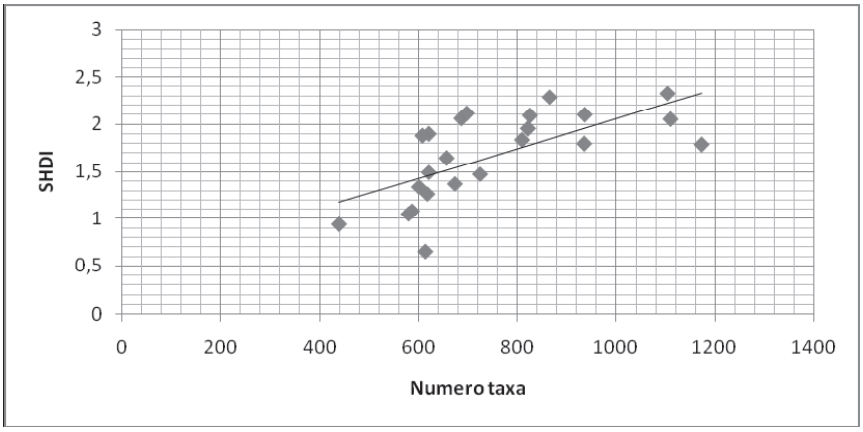


Figura 1 - Confronto tra l'indice di diversità di Shannon e la diversità floristica.

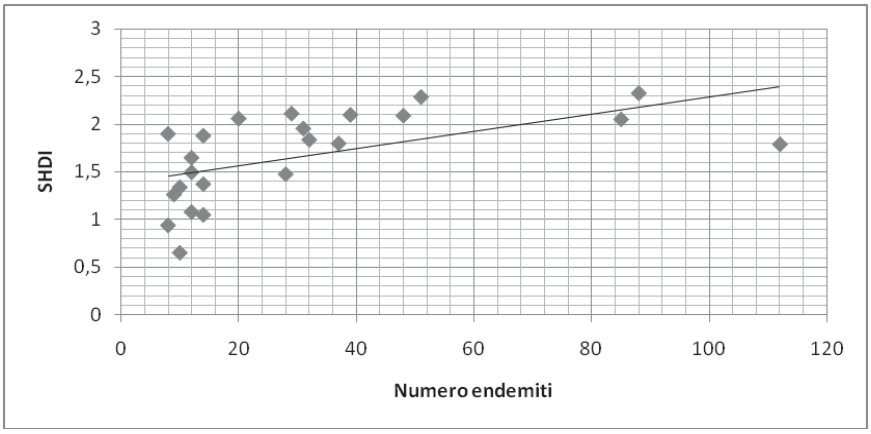


Figura 2 - Confronto tra l'indice di diversità di Shannon e il numero di taxa endemici.

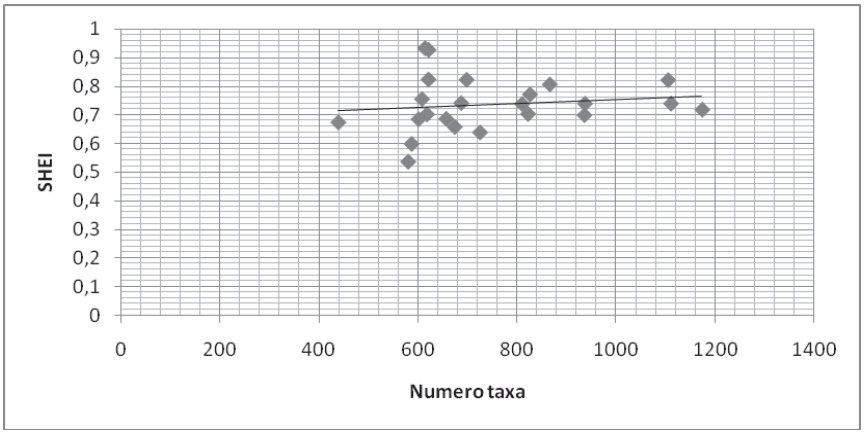


Figura 3 - Confronto tra l'indice di equitabilità (Evenness) di Shannon e la diversità floristica.

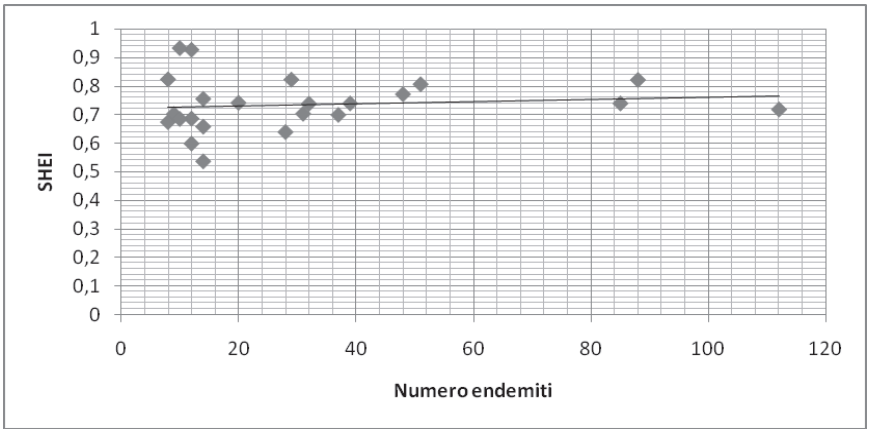


Figura 4 - Confronto tra l'indice di equitabilità (Evenness) di Shannon ed il numero di taxa endemici.

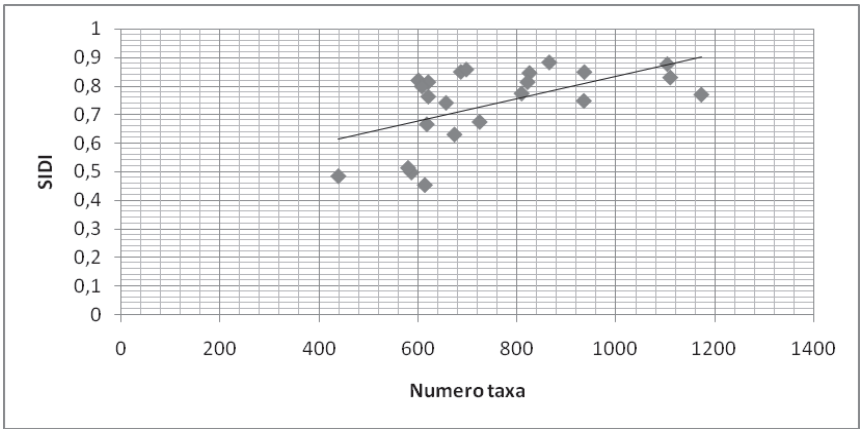


Figura 5 - Confronto tra l'indice di diversità di Simpson e la diversità floristica.

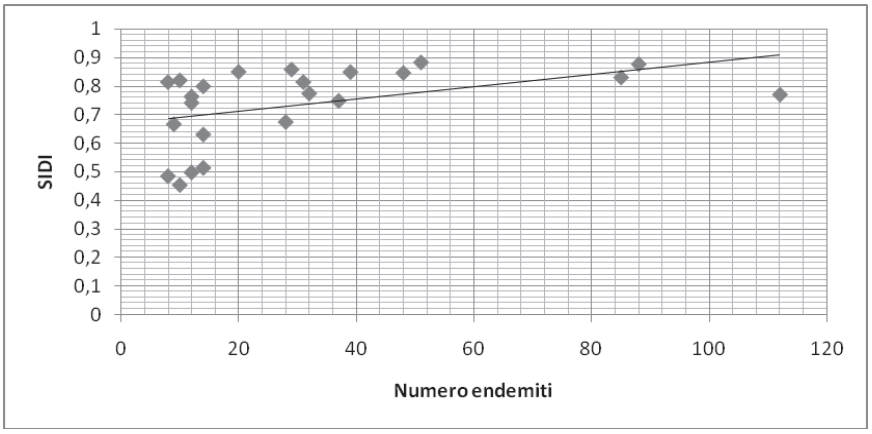


Figura 6 - Confronto tra l'indice di diversità di Simpson ed il numero di taxa endemici.

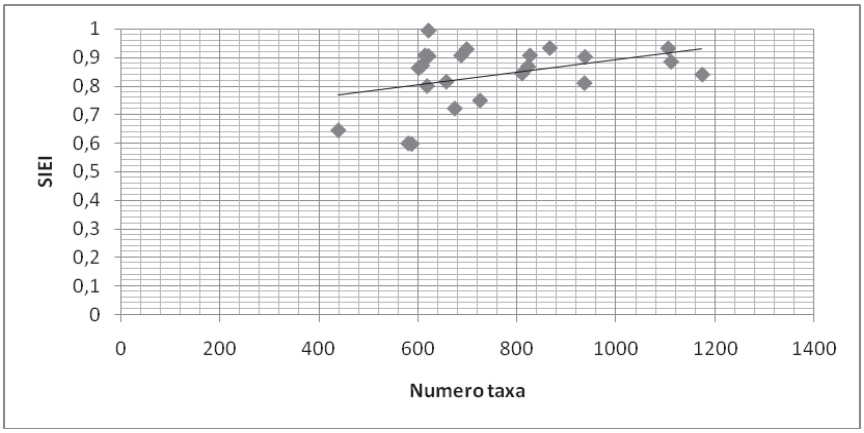


Figura 7 - Confronto tra l'indice di equitabilità (Evenness) di Simpson e la diversità floristica.

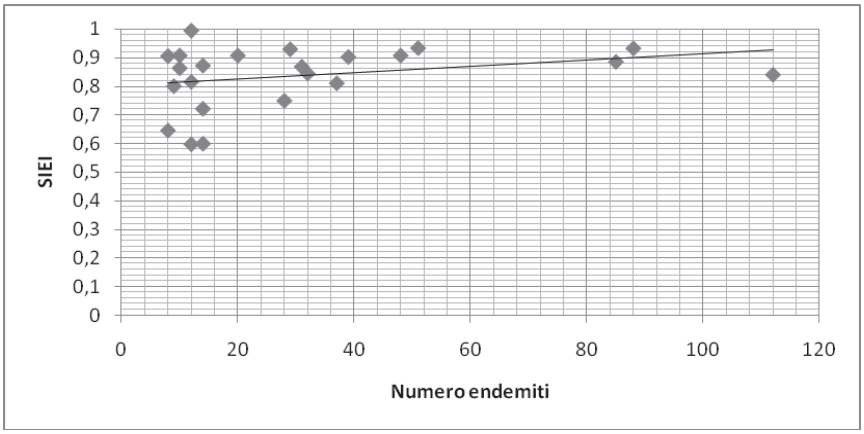


Figura 8 - Confronto tra l'indice di equitabilità (Evenness) di Simpson ed il numero di taxa endemici.

Bibliografia

McGarigal K., Cushman S.A., Neel M.C., Ene E. (2002), *FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps,* Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. Available at the following web site: www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html.

Raimondo F.M., Schicchi R., Surano N. (2004), "Carta del paesaggio e della biodiversità vegetale del Parco delle Madonie (Sicilia)", *Naturalista sicil.* s. 4, 28(1): 71-137.

Pignatti S. (1978), "Dieci anni di cartografia floristica nell'Italia di Nord-Est", *Inform. Bot. Ital.,* 10: 212-217.

Shannon C., Weaver W. (1949), *The mathematical theory of communication*, Univ. Illinois Press, Urbana.

Simpson E. H. (1949), "Measurement of diversity", *Nature*, 163: 688.

VERIFICA PLANIMETRICA DI RILIEVI LIDAR DA AEROMOBILE TRAMITE ELEMENTI LINEARI: METODO E SPERIMENTAZIONE

Alberto BEINAT, Francesco SEPIC

Università degli Studi di Udine, Dipartimento di Georisorse e Territorio, Via cotonificio 114, 33100 Udine (Italy)
Tel 0432 558708 Fax 0432 558700 E-mail: alberto.beinat@uniud.it

Riassunto
Il lavoro considera i principali problemi relativi alla verifica planimetrica dei rilievi LiDAR da aeromobile, rivisita alcune soluzioni ed esperienze note in letteratura, e descrive infine una tecnica operativa basata sulla estrazione diretta dalla nube di punti del DSM di oggetti di tipo lineare e sulla loro verifica topografica in campagna. Tra i vantaggi del metodo, oltre a sfruttare elementi frequentemente presenti sul terreno, esso permette di realizzare agevolmente segnali di controllo specifici da posizionare preventivamente all'esecuzione dei rilievi LiDAR.
L'articolo riporta infine la sintesi di alcune esperienze relative alla verifica planimetrica di rilievi LiDAR da aeromobile condotte dagli autori secondo il metodo proposto.

Abstract
In this work we analyse some basic questions related to the horizontal assessment of the airborne LiDAR surveys. We review at first some of the relevant solutions and experiences found in the literature, and we describe a technique based on the direct extraction from the point cloud, and on the subsequent topographic assessment, of linear type entities. Among the advantages of the method, besides the many objects available in the field, specific linear targets can be easily made and installed on the ground before the LiDAR surveys are carried out.
The paper finally reports some experiences of planimetric assessment of LiDAR airborne surveys performed by the authors following the proposed method.

Introduzione

I sistemi di scansione LiDAR da aeromobile di recente produzione consentono di ottenere direttamente densità di campionamento del terreno superiori a 10 ÷ 20 punti a m^2 limitando al massimo il ricorso a onerosi ripetuti sorvoli.
Il miglioramento della risoluzione planimetrica[1] permette di estendere l'interesse applicativo dei rilievi Lidar, dalla diffusa e consolidata produzione di modelli digitali del terreno (DTM), a settori finora esclusivi della fotogrammetria, come la realizzazione di cartografia a grande scala e di modelli 3D dell'edificato, derivandoli interamente dalla elaborazione della sola nube di punti senza richiedere alcun supporto fotografico.
Per queste applicazioni assumono quindi notevole rilevanza le precisioni planimetriche conseguibili dal LiDAR, come pure gli strumenti e le procedure operative per verificare sul campo (collaudare) i requisiti metrici che il rilievo LiDAR e i suoi prodotti devono soddisfare.

[1] Come regola operativa, la risoluzione planimetrica di una scansione LiDAR, nell'ipotesi ideale di campionamento regolare e omogeneo, confrontabile con la dimensione reale p del pixel fotografico corrispondente, può essere quantificata come $p = 1/\mathrm{sqrt}(d)$, ove d è la densità della scansione stessa. Una densità di scansione di 16 punti/m^2 fornisce quindi una risoluzione potenziale di 0.25 m.

Le principali tecniche di collaudo

Quando il LiDAR è impiegato per la produzione di DTM o per integrare le quote di una cartografia esistente, le verifiche di precisione e di accuratezza delle misure sono rivolte essenzialmente alla componente altimetrica (assoluta e relativa). A questo riguardo le metodologie di collaudo sono ampiamente sperimentate e di agevole esecuzione. Una pratica a cui si fa spesso ricorso consiste nell'individuare nell'area di interesse una serie di superfici sub-orizzontali regolari (es. terrazze, strade, piazzole etc.) la cui estensione, variabile da 1 m^2 ad alcune decine di m^2, è rapportata alla densità del campionamento, in modo da comprendere un numero statisticamente significativo di punti. La posizione e la giacitura di queste areole sono quindi rilevate localmente per via topografica mediante misure satellitari o integrate, e successivamente confrontate con la corrispondente porzione del DSM prodotto dal laser scanner. La scelta di superfici orizzontali consente di eliminare gli scostamenti altimetrici indotti da una incorretta georeferenziazione planimetrica, che si riscontrano facilmente nel caso di superfici inclinate.

Nel caso si debba esaminare la precisione planimetrica di un rilievo LiDAR si incontrano difficoltà superiori: il campionamento delle superfici è discreto e la posizione del punto misurato non è prevedibile né ripetibile se non grossolanamente e comunque lontano dalle precisioni topografiche necessarie. Le scansioni inoltre avvengono secondo direzioni quasi ortogonali al terreno: nel caso di edifici, pertanto, sono pochissimi i punti che campionano le pareti verticali, per di più secondo angoli di incidenza geometricamente sfavorevoli. Questo fa sì che non siano definibili nel rilievo LiDAR quelle discontinuità morfologiche (es spigoli, facciate di muri, pareti, pali etc.) comunemente adottate nella pratica topografica di collaudo, se non con una incertezza dell'ordine del passo di scansione (per altro non isotropo) aumentata del diametro dell'impronta a terra del raggio laser (*spot size*). Proprio l'effetto legato alla dimensione dello *spot*, in particolare, è un fattore ancora poco indagato in letteratura, e può costituire un limite alla massima precisione planimetrica ottenibile da un rilievo Lidar anche nel caso in cui tutti gli errori del sistema siano stati rimossi.

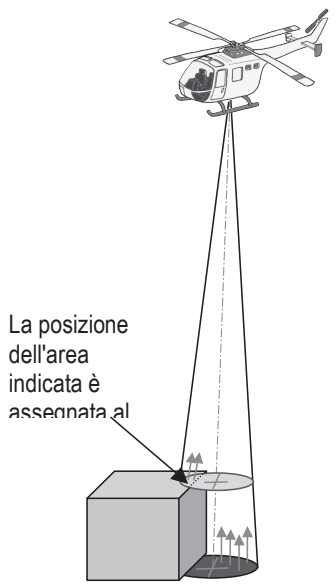
La maggior parte di coloro che hanno affrontato il problema planimetrico hanno sviluppato procedure per determinare la posizione precisa delle discontinuità morfologiche presenti nella nube LiDAR per via indiretta, basandosi essenzialmente sulla individuazione e modellazione di piani inclinati e sulla determinazione delle loro linee di intersezione (es. Schenk et al., 2001). Tralasciando per via della loro approssimazione e per il rischio di introdurre errori sistematici le tecniche basate sul *gridding* dei dati LiDAR (es. Behan, 2000), uno dei primi metodi proposti, suffragato da una indagine sperimentale, impiega come elementi di controllo le rampe inclinate presenti principalmente sulle strade e sugli argini dei fiumi (Casella e Spalla, 2000; Casella, 2002).

Altri metodi sono stati sviluppati con il fine di individuare punti di corrispondenza tra coppie di strisciate, attraverso i quali condurre la compensazione plano-altimetrica delle strisciate stesse. Al riguardo, una possibile generalizzazione del metodo di *strip adjustment* proposto da Maas (2000; 2002) permette di allineare mediante algoritmi di tipo *ICP* (*Iterative Closest Point*) piccole porzioni rappresentative di un DSM LiDAR al corrispondente modello TIN ricavato topograficamente, consentendo di stimare per ogni superficie di controllo i relativi parametri di scostamento altimetrico e planimetrico. Sempre in quest'ambito, si è proposto recentemente di operare mediante le linee di colmo dei tetti, desumendo indirettamente la loro posizione dall'intersezione dei due piani di falda che formano la copertura, le caratteristiche geometriche dei quali sono ricavate dai dati LiDAR (Vosselmann, 2008).

Una verifica sperimentale diretta della precisione conseguibile da un rilievo LiDAR ha previsto invece la posa in opera di un certo numero di segnali orizzontali, appositamente realizzati, costituiti da due cerchi concentrici del diametro rispettivamente di 0.5 e 1 metro (Csanyi e Toth, 2007b).

Per quanto riguarda le esperienze citate, a prescindere da ogni altro aspetto, il problema generale ai fini dei collaudi è che gli elementi che vengono proposti come *target* naturali o sono irregolari e di non agevole determinazione topografica (tetti e altri elementi del terreno) oppure risultano di saltuario reperimento (rampe variamente orientate).

Lo *spot* come ulteriore elemento di incertezza.



A complicare il problema planimetrico, si pone la circostanza che la dimensione dell'impronta a terra del raggio laser non ha dimensioni puntuali ma finite. La causa è dovuta alla divergenza che il laser subisce a partire dal punto di emissione. Questo fenomeno può essere controllato - e in proposito la maggior parte degli strumenti consente di operare con diversi valori di divergenza - ma non è eliminabile. La divergenza fa sì che il diametro nominale dello spot, definito dall'area al cui interno l'intensità del segnale si mantiene maggiore a I_{max}/e^2, ove I_{max} è l'intensità massima del segnale ed e = 2.7183 (cfr. Jacobs, 2006, per una definizione esaustiva), tenda ad aumentare linearmente con la distanza, giungendo ad esempio a 25 cm a 1000 m, a 50 cm a 2000 m e a 75 cm a 3000 m dalla sorgente (altri esempi in: Lemmens, 2007). Entro quest'area una superficie sufficientemente estesa o altamente riflettente, anche se disposta ai margini dello spot, può produrre una eco del segnale. Il sistema non è in grado di determinare la posizione effettiva dell'oggetto all'interno dello *spot*, e gli assegna pertanto quella corrispondente al centro dello *spot* stesso, come nel caso schematizzato a fianco. Questo fenomeno è particolarmente evidente, e può portare a stime distorte, come nel caso in cui si voglia sfruttare la forte riflettività della segnaletica orizzontale stradale per individuarvi dei possibili *target* di controllo (Vosselmann, 2002). Dato che è molto difficile separare l'effetto di tale fenomeno da quelli che sono gli errori casuali agenti sul sistema, la raccomandazione in tal senso è di mantenere quote di volo basse e impostare il raggio laser sul valore minimo di divergenza.

Metodologia e sperimentazione

Le esperienze qui descritte nascono dall'esigenza di adottare nella pratica un metodo topografico per la verifica plano altimetrica dei rilievi LiDAR che sia meno oneroso di quelli proposti in letteratura. In topografia e fotogrammetria è prassi consolidata identificare gli elementi geometrici di controllo in corrispondenza delle discontinuità geometriche delle superfici degli oggetti: spigoli di muri e di coperture, etc. Nel caso del LiDAR, a causa della densità di scansione relativamente bassa in relazione alla risoluzione con cui sono campionati gli oggetti è praticamente impossibile definire con precisione i limiti delle discontinuità. Se consideriamo il tetto di un edificio, ad esempio, l'analisi del DSM relativo consente di stabilire solamente se i vari punti cadono sulla copertura oppure al di fuori di essa. Le misure che cadono sul bordo non sono riconoscibili e quest'ultimo quindi non è definibile; è intuibile solamente che si trovi all'interno di una fascia di transizione che separa i punti falda dai punti terreno, sempre che non intervengano errori di misura a rendere meno netti i limiti dei due insiemi e a complicare conseguentemente l'interpretazione dei risultati.

Nei casi analizzati ci si è trovati di fronte alla necessità di verificare planimetricamente rilievi laser effettuati a bassa densità, anche di soli 2-3 punti/m^2. Tra i *target* individuati per la prova, si è posta attenzione agli oggetti di tipo monodimensionale, quali linee aeree elettriche e telefoniche, o parapetti metallici di strade e ponti. Date le loro dimensioni questi elementi sono facilmente campionati dal Lidar, sono molto frequenti sul territorio e la loro determinazione topografica avviene abbastanza agevolmente. Essendo monodimensionali questi elementi consentono di confinare con certezza, almeno in una componente, la posizione del LiDAR.

Il principale esperimento ha riguardato l'esame di 29 campioni di dati LiDAR relativi ad altrettanti tratti di condutture elettriche, sia di linee ad alta tensione, sia di linee di distribuzione. L'ipotesi di lavoro è che i tratti di conduttura compresi tra due supporti, in assenza di forze laterali quali il vento, proiettati su un piano orizzontale, definiscano una retta la cui equazione è desunta dai dati LiDAR con procedura ai minimi quadrati, minimizzando il quadrato degli scostamenti perpendicolari alla retta interpolatrice. La funzione da minimizzare è pertanto la:

$$R^2 = \sum_{i=1}^{p} \frac{\left[N_i - \left(mE_i + q\right)\right]^2}{1 + m^2} \tag{1}$$

ove N_i e E_i ($i = 1 \ldots N$) sono le componenti planimetriche dei singoli p punti di ogni elemento lineare, m e q definiscono la retta interpolante $N = mE + q$. Tale funzione ammette soluzione diretta:

$$m = -M \pm \sqrt{M^2 + 1} \tag{2}$$

$$q = \frac{\sum_{i=1}^{p} N_i - m\sum_{i=1}^{p} E_i}{p} \tag{3}$$

Ove:

$$M = \frac{\left[\sum_{i=1}^{p} N_i^2 - \frac{1}{p}\left(\sum_{i=1}^{p} N_i\right)^2\right] - \left[\sum_{i=1}^{p} E_i^2 - \frac{1}{p}\left(\sum_{i=1}^{p} E_i\right)^2\right]}{\frac{2}{p}\sum_{i=1}^{p} E_i \sum_{i=1}^{p} N_i - 2\sum_{i=1}^{p} E_i N_i} \tag{4}$$

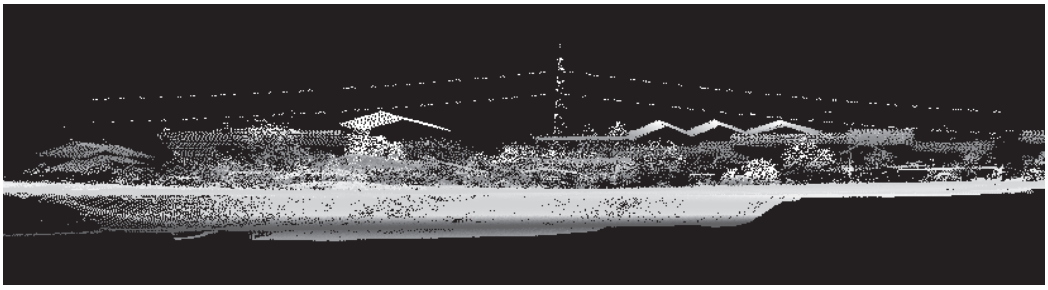


Figura 1 – Le linee aeree rilevate dal LiDAR sono facilmente identificabili e selezionabili durante l'analisi del DSM prodotto dalla scansione.

Nella Tabella 1 sono riportati alcuni risultati relativi a un sottocampione di 12 segmenti di controllo, e si riferiscono, in questa fase, alle sole analisi di precisione. I dati sono stati acquisiti con un sensore Optech ALTM 3100 montato su elicottero, da una altezza di volo di poco superiore a 1100 metri rispetto al terreno. La densità media della singola scansione, nelle zone da cui sono stati estratti i dati, è di circa 4 punti a m^2. Le tratte 23, 25 e 26, e le tratte 30, 33 e 36 fanno parte, rispettivamente, di due distinte terne: risultano pertanto orientate allo stesso modo e spazialmente vicine (Figura 2). I parametri che le caratterizzano confermano questa affinità.
L'analisi dei dati consente di individuare una correlazione tra precisione e giacitura delle linee di controllo rispetto alla direzione di scansione. Le tratte di linea disposte ortogonalmente alla linea di volo dell'aeromobile (Linee 20, 21, 23, 25, 26, 30, 33, 36) sono quelle che presentano le precisioni maggiori, evidenziate da dispersioni contenute tra 4 e 9 cm (SQM) e con scarti massimi minori di

16 cm. Gli elementi disposti parallelamente alla traiettoria (Linee 9, 22, 38, 39) rivelano una determinazione peggiore: lo scarto quadratico medio si colloca tra 11 e 22 cm, e così pure lo scarto massimo raggiunge i 38 cm. Ciò avviene malgrado queste linee siano le più brevi e più densamente campionate.

Tratta	*Punti*	*Lunghezza tratta (m)*	*Direzione (gon)*	*Densità (punti/m)*	*Scarto max (m)*	*SQM (m)*
Linea 9	*7*	*9.45*	*5.5*	*0.74*	*0.31*	*0.19*
Linea 20	*14*	*30.72*	*78.1*	*0.46*	*0.07*	*0.05*
Linea 21	*16*	*22.56*	*72.3*	*0.71*	*0.16*	*0.09*
Linea 22	*18*	*10.95*	*4.7*	*1.64*	*0.38*	*0.22*
Linea 23	*57*	*161.21*	*112.4*	*0.35*	*0.10*	*0.05*
Linea 25	*47*	*161.63*	*112.3*	*0.29*	*0.14*	*0.05*
Linea 26	*50*	*161.60*	*112.3*	*0.31*	*0.09*	*0.04*
Linea 30	*149*	*292.33*	*83.3*	*0.51*	*0.15*	*0.06*
Linea 33	*177*	*265.50*	*83.3*	*0.67*	*0.15*	*0.06*
Linea 36	*176*	*263.65*	*83.3*	*0.67*	*0.14*	*0.06*
Linea 38	*17*	*30.34*	*197.1*	*0.56*	*0.17*	*0.11*
Linea 39	*24*	*29.59*	*193.5*	*0.81*	*0.15*	*0.11*

Tabella 1 – Riassunto dei principali parametri geometrici e di precisione delle tratte lineari considerate. Lo scarto max identifica la massima distanza orizzontale del punto dalla linea media.

In un secondo caso si è condotto un esperimento di presegnalizzazione a terra di un rilievo LiDAR, per valutarne la fattibilità e l'efficacia. Diversamente dall'esperienza di Csanyi e Toth (2007b) che hanno impiegato segnali circolari, il *target* realizzato consisteva in una più maneggevole struttura a croce di 6 x 5 metri, realizzata unendo 4 listelli dello spessore di 30 mm, collocati ortogonalmente tra di loro a circa un metro di altezza dal terreno. La posizione del centro e dei vertici della croce è stata determinata con GPS. Il LiDAR TopoSys impiegato, anche a una densità di 3.5 punti a m^2 ha rilevato adeguatamente la struttura del segnale (Figura 3). Interpolando linearmente i punti campionati si sono determinate le posizioni del centro e le direzioni dei bracci del segnale. Confrontando questi valori con quelli misurati sul terreno è stato possibile ricavare lo scostamento planimetrico complessivo e le componenti Nord ed Est. I dati relativi sono riportati in Tabella 2.

Oggetto	*Punti*	*Lunghezza tratta (m)*	*Densità (punti/m)*	*Scarto max (m)*	*SQM (m)*
Elem. corto	*6*	*5*	*1.20*	*0.08*	*0.05*
Elem. lungo	*7*	*6*	*1.17*	*0.10*	*0.06*

Tabella 2 – Dati di campionamento del target sperimentale.

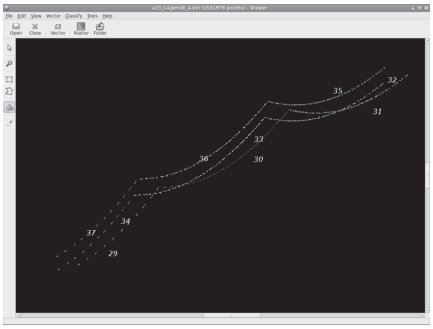


Figura 2 – Esempio di linee elettriche impiegate per i controlli

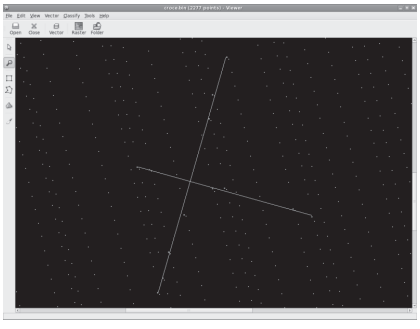


Figura 3 – Il target sperimentale campionato dal LiDAR

Per quanto riguarda le verifiche di accuratezza, esse sono in corso di completamento. A tal fine, i rilievi topografici di controllo delle varie linee prevedono l'installazione di una singola coppia di vertici GPS intervisibili, per le tratte corte, e di una doppia coppia di vertici per quelle più estese. Da questi punti, impiegati come fuori centro, viene determinata per intersezione in avanti la posizione assoluta dei cavi, che viene poi confrontata con quella desunta dal LiDAR.

Conclusioni

Abbiamo presentato i risultati di alcune verifiche di precisione planimetrica di rilievi LiDAR da aeromobile effettuate mediante un metodo originale basato su elementi di controllo diretti di tipo lineare costituiti principalmente da segmenti di linee aeree elettriche o telefoniche. Tali elementi sono diffusamente presenti nel territorio antropizzato e di agevole determinazione topografica; nondimeno segnali di controllo aggiuntivi sono di facile realizzazione e installazione.
I risultati sperimentali mostrano che questi *target* possono essere individuati agevolmente con precisioni comprese tra una e due volte quelle tipiche della componente verticale, in funzione della loro giacitura rispetto alla direzione di scansione e della dimensione dell'impronta del laser.

Ringraziamenti

Si ringrazia la società Geotechnos di Trieste per la collaborazione e la concessione dei dati relativi all'esperimento di presegnalizzazione.

Bibliografia

Behan A., (2000), "On the Matching Accuracy of Rasterized Scanning Laser Altimeter Data". *IAPRS*, Vol. 33, Part B2, 75-82

Casella V., Spalla A. (2000), "Estimation of Planimetric Accuracy of Laser Scanning Data. Proposal of a Method Exploiting Ramps", *IAPRS*, Vol. XXXIII, Part B3/1, Amsterdam, 157-163.

Casella V. (2002), "Studio sperimentale della precisione plano altimetrica del laser scanning", *Atti della IV Conferenza ASITA*, Vol. I, Genova, 3-6 Ottobre 2000, 543-552.

Csanyi May N., Toth C. K. (2007a), "Point Positioning Accuracy of Airborne Lidar Systems: A Rigorous Analysis", in: Stilla U et al (Eds) PIA07. *IAPRS*, 36 (3/W49B), 107-111.

Csanyi May N., Toth C. K. (2007b), "Improvement of LIDAR Data Accuracy Using Lidar-Specific Ground Targets", Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, April 2007, 73 (4), 385-396.

Huising E.J., Gomes Pereira L.M., (1998), "Errors and accuracy estimates of laser data acquired by various laser scanning systems for topographic applications". *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 53, No. 5, 245-261

Jacobs G., (2006), "Understanding Spot Size for Laserscanning", *Professional Surveyor Magazine*, October 2006.

Lemmens M., (2007), "Airborne Lidar Sensors", GIM International, February 2007.

Maas H.-G., (2000), "Least-Squares Matching with Airborne Laserscanning Data in a TIN Structure". *IAPRS,* Vol. 33, Part 3A, 548-555

Maas H.-G., (2002), "Method for measuring height and planimetry discrepancies in airborne laserscanner data", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 68(9), 933–940.

Schenk T., Seo S., Csatho B. (2001), "Accuracy Study of Airborne Laser Scanning Data With Photogrammetry", *IAPRS*, Volume XXXIV-3/W4 Annapolis, MD, 22-24 Oct. 2001, 113-118

Vosselman G., (2002). "On the Estimation of Planimetric Offsets in Laser Altimetry Data". *IAPRS*, Vol. XXXIV, Part A3, Graz, Austria, 375–380.

Vosselman G., (2008). "Analysis of Planimetric Accuracy of Airborne Laser Scanning Surveys", *IAPRS*, Vol. 37, Part 3A, Beijing, China, July 3-11

GESTIONE E AGGIORNAMENTO DELLE INFORMAZIONI TERRITORIALI LEGATE A PEDEMONTANA LOMBARDA: UN'INNOVAZIONE DIROMPENTE SUL TERRITORIO

Stefano BELLINZONA (*), Daniela CARRION (**), Fabio CERVI (*),
Cinzia DAVOLI (*), Andrea MAFFEIS (**)

(*) CAAM, Consorzio Area Alto Milanese, via De Gasperi, 2A 20031 Cesano Maderno (MI)
tel 0362/301.578, fax 0362/622.173, e-mail promozioneterritorio@caam.mi.it
(**) DIIAR Politecnico di Milano, piazza Da Vinci 32 20133 Milano (MI), tel 02/23996543
e-mail [daniela.carrion, andrea.maffeis]@polimi.it

Abstract
La progettazione dell'Autostrada Pedemontana Lombarda sta entrando nella sua fase definitiva e successivamente partiranno gli interventi di realizzazione. I cantieri interesseranno per alcuni anni un'area fortemente urbanizzata e congestionata, andando a modificare anche la viabilità ordinaria e questo provocherà un notevole impatto sulla popolazione e su tutti i soggetti interessati.
In tale ambito il CAAM (Consorzio Area Alto Milanese), con la consulenza del DIIAR – Sez. Rilevamento del Politecnico di Milano, ha proposto alla Società Pedemontana uno strumento per la comunicazione delle informazioni legate all'evoluzione delle attività di realizzazione dell'opera e dei suoi impatti basato su un WebGIS.
La gran parte dei comuni interessati dall'attraversamento dell'opera si stanno dotando di un Data Base Topografico, prodotto secondo le specifiche di Regione Lombardia. È risultato logico pensare di mettere in relazione le informazioni legate alla realizzazione della Pedemontana con gli elementi del DBT. Inoltre, essendo l'informazione soggetta a continui mutamenti, diventano fondamentali la gestione della componente temporale per una visualizzazione non statica dell'evoluzione degli eventi e l'aggiornamento della base dati cartografica in modo continuo ed efficace. In questa prima fase preliminare del progetto si è pensato di implementare una procedura che consenta di raccogliere i dati geometrici e alfanumerici utili all'aggiornamento cartografico sfruttando quei canali che ordinariamente ricevono questo tipo di informazioni per procedimenti amministrativi.
Ad oggi, la sperimentazione della procedura di aggiornamento prevede di acquisire le informazioni geometriche e gli attributi necessari alla compilazione dei campi del DBT attraverso i progetti presentati allo sportello unico dei comuni. In una seconda fase, a valle della realizzazione, la componente geometrica verrà assimilata a partire dai rilievi finalizzati all'aggiornamento catastale.

The design of the Autostrada Pedemontana Lombarda is entering its final phase and then leave the interventions implemented. Yards for a few years will affect an area heavily urbanized and congested, going to alter the ordinary roads. It will then be considerable impact for the peoples and all stakeholders. In this context the CAAM (Consorzio Area Alto Milanese), with the advice of DIIAR - Sec. Detection of Politecnico di Milano, has proposed to the Company Pedemontana a tool for the communication of information related to the implementation of activities and its impacts based on a WebGIS. Most of the municipalities concerned to the crossing are providing a Data Base Topographic, produced according to the specifications of Regione Lombardia. It was logical to think to connect the information related to the implementation of Pedemontana with elements of DBT. Moreover, by the very nature of information, subject to a constant change, it becomes essential component of management time for a static display of the events. Crucial element for any

DBT, and especially for this event, which provides for a rapid evolution of territory, is the possibility of updating the database mapping in a continuous and effective way. In this first preliminary phase of the project was designed to implement a procedure to collect the geometric and alphanumeric data useful for the cartographic exploiting those channels that routinely receive this type of information for administrative proceedings. To date, testing the procedure update plans to acquire the geometrical information and attributes necessary to complete the fields of DBT projects submitted through the single point of municipalities. In a second phase, downstream to the completion, the geometric component will be treated from the relief aimed updating land.

Introduzione e inquadramento territoriale

In regione Lombardia da decenni si parla della realizzazione di un'asse autostradale che colleghi direttamente le province di Bergamo e Varese (dall'aeroporto di Orio al Serio a quello di Malpensa) passando a nord di Milano ed a sud della fascia prealpina: tale progetto è conosciuto come "Pedemontana". Solamente in questi ultimi anni la proposta ha trovato una concretizzazione ed attualmente si è avviato il processo di realizzazione che si dovrebbe concludere entro il 2015 (anno in cui si terrà l'Esposizione universale a Milano). In questo momento sono in fase avanzata di predisposizione i progetti definitivi dell'intero tracciato e delle opere accessorie (tangenziali di Como e di Varese) ed è stato firmato, da parte della Società Pedemontana Lombarda spa, il contratto per la realizzazione del primo lotto.

Il tracciato previsto è di complessivi 157 Km, di cui 87 di autostrada e, interessando un'area fortemente urbanizzata e densamente popolata, è facile immaginare il negativo impatto che si produrrà sulla viabilità, già "ordinariamente" congestionata, nel momento in cui saranno operativi i cantieri, soprattutto quelli che interesseranno la rete stradale esistente.

Parallelamente a tutto ciò, negli ultimi anni molti comuni lombardi si sono dotati, anche grazie ad appositi finanziamenti regionali, di basi cartografiche aggiornate e strutturate nella forma di Database Topografici (DBT). La disponibilità di un DBT rappresenta per un comune non solo un'efficiente risposta alle esigenze di pianificazione, gestione e conoscenza del territorio, ma di fatto rappresenta anche la possibilità di agganciare al DBT, e quindi georeferenziare, ulteriori banche dati.

In tale contesto il CAAM (Consorzio Area Alto Milanese), il cui territorio sarà attraversato dallo snodo centrale dell'autostrada e disponendo a breve del DBT per i comuni, ha predisposto un progetto che ha come obiettivo la realizzazione di uno strumento – basato su un Sistema Informativo Territoriale - per la gestione dell'informazione territoriale generata dall'impatto di 5 anni di cantieri per minimizzarne i contraccolpi e per mediare il rapporto con i cittadini e le amministrazioni locali. Il progetto, redatto con la collaborazione del DIIAR Sez. Rilevamento del Politecnico di Milano, nasce dall'idea di poter veicolare a cittadini ed amministrazioni tutte quelle informazioni prodotte dal processo di realizzazione dell'autostrada e caratterizzate da una componente spazio-temporale. Inoltre, vista l'intrinseca dinamicità dei contenuti informativi e delle consistenti modifiche territoriali attese, sarebbe impensabile utilizzare sempre la medesima base cartografica senza prevederne degli aggiornamenti. Per cui nel progetto predisposto, ampio peso è stato attribuito alla componente di aggiornamento delle classi del DBT.

Il progetto, esteso a tutti i comuni interessati dal tracciato dell'opera, è stato presentato alla Società Autostrada Pedemontana Lombarda spa. Di seguito se ne presentano le principali caratteristiche.

Copertura mediante DB Topografici del tracciato di Pedemontana

Rispetto alle esigenze espresse, evidentemente non è sufficiente disporre di DataBase Topografici solo per i comuni fisicamente interessati dal suo attraversamento: pertanto rispetto al tracciato sono stati considerati i comuni all'interno di una fascia (buffer) di 1 km dalla sede stradale.

Nell'immagine che segue sono rappresentati in verde i comuni attraversati e in retino diagonale i comuni all'interno di tale buffer

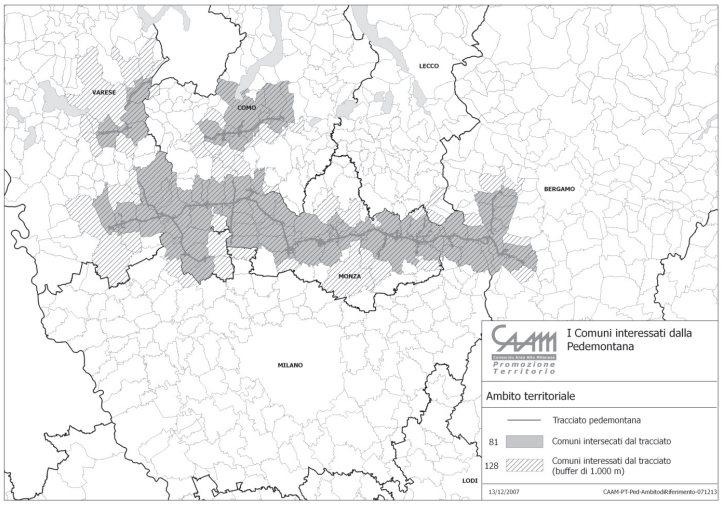


Figura 1 - Tracciato Pedemontana e buffer 1 km x DB Top

In totale sarebbero quindi 128 i comuni per i quali sarebbe opportuno disporre di un DataBase Topografico.

	N. Comuni	Superficie (Kmq)	% N. Comuni	% Superficie
Interessati Pedemontana	128	988.17	100%	100%
di cui:				
con DBT Finanziato	40	312,97	31,25%	31,67%
con DBT in proprio	7	167,86	5,47%	16,99%
con DBT in progetto	5	34,24	3,91%	3,46%
nessun DBT noto	76	473,10	47,88%	47,88%

Tabella 2 - Tabella comuni Pedemontana

L'ambito territoriale su cui attivare i servizi è rappresentato principalmente da tutti quei comuni che sono intersecati dai tracciati della Pedemontana e di tutte le sue opere accessorie e in misura minore anche da quei comuni che si trovano all'interno di un buffer di circa 1 Km dai tracciati stessi.
Secondo questo criterio vengono ad essere coinvolti complessivamente 128 comuni su ben 6 province, compresa la provincia di Monza e Brianza, per un territorio che ha una estensione di circa 1.000 Km^2 come meglio evidenziato nella figura precedente.

A partire dal gennaio 2010 è prevista la concreta erogazione di tutti i servizi previsti come illustrati "simbolicamente" nella figura 3. Ovviamente questo comporta una gestione continuativa del sistema e della centrale operativa allo scopo di aggiornare i dati, seguire l'evolvere dei cantieri e implementare ogni trasformazione utile, oltre che individuare periodicamente i percorsi alternativi rispetto a situazioni locali.
Inoltre, nel corso della erogazione dei vari servizi, si intende contestualmente attivare un processo manutentivo per mantenere le infrastrutture ICT (hardware e software) perfettamente aggiornate e allineate rispetto ai requisiti tecnologici di contesto: questo permetterà di gestire il sistema per tutto il periodo di durata della realizzazione e di avere sempre un sistema aggiornato e in grado da subito di recepire le eventuali innovazioni frutto della naturale evoluzione dei sistemi informativi.

All'interno di questo processo è incluso anche il continuo aggiornamento dei software specifici quali il pacchetto ArcGIS Server e delle relative estensioni, nonché la manutenzione del server web dedicato e del suo sistema operativo.

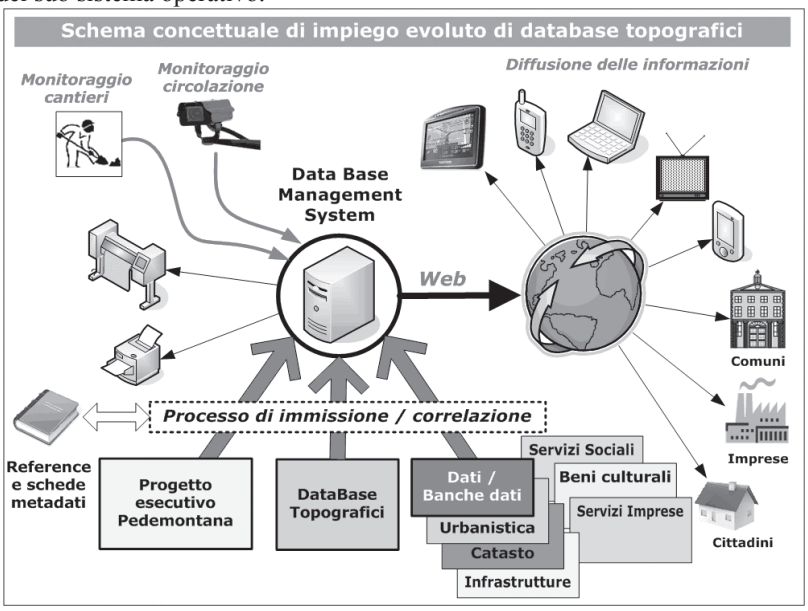


Figura 3 – Schema concettuale d impiego evoluto del DBT

Inoltre si avvierà anche un programma di manutenzione dei dati stessi: con questa attività si intende mantenere i dati acquisiti sempre aggiornati e allineati con le specifiche tecniche finora approvate dai vari organi preposti, e quindi sarà possibile garantire un'alta qualità dei dati che possa sempre rispondere in maniera adeguata alle varie richieste che il mercato o la modifica e /o l'integrazione di particolari specifiche tecniche potrebbero richiedere. In questo modo il Sistema Informativo Territoriale che si viene a creare contiene dati sempre corrispondenti alla realtà e quindi sempre in grado di rispondere alle continue richieste dei privati e degli enti locali che si attiveranno per consultare il portale.

Servizi ai cittadini

Vengono proposti una serie di servizi che permettono ad un qualsiasi cittadino di scegliere se scaricare in formati comuni (.pdf .jpg) una serie di mappe pre-impostate riguardanti lo stato di avanzamento dell'infrastruttura e delle sue opere accessorie, oppure di navigare tramite un comune browser attraverso un sistema di pubblicazione dinamico dei dati attraverso software WebGIS che permette di visualizzare le mappe e di poter consultare i dati che vi vengono pubblicati.

- *Sviluppo mappe in back-office per divulgazione e/o comunicazione*

Si prevede la realizzazione, sulla base dei dati forniti e di dati disponibili in rete, di una serie di mappe e i loro aggiornamenti temporali riguardanti il territorio interessato dall'opera con particolare riguardo alle aree di cantiere e le tempistiche di apertura e chiusura lavori. Si monitorerà anche la viabilità locale per l'individuazione di percorsi viabilistici alternativi tenendo in considerazione la diversa provenienza della domanda. Chiaramente la viabilità locale sarà soggetta ad incrementi dei volumi di traffico dovuti al deflusso dalla viabilità principale e ai mezzi di cantiere. Si potrà valutare ed eventualmente diffondere l'evoluzione dei volumi di traffico sui tratti significativi, l'individuazione di interventi accessori temporanei, la localizzazione degli interventi di mitigazione ambientale concertati con gli enti e loro stato di aggiornamento.

- Sviluppo WebGIS per Stato Avanzamento Lavori

Sviluppo di un sistema per la gestione delle informazioni geografiche caratterizzate da una componente temporale. Attraverso una attività continuativa di raccolta e monitoraggio dello stato di avanzamento dei lavori sarà possibile realizzare cronomappe sullo stato di attuazione e sull'apertura dei prossimi cantieri: attraverso il WebGIS sarà possibile che qualsiasi utente possa crearsi una propria mappa visualizzando ad una determinata data lo stato di avanzamento dei lavori.

- Sviluppo WebGIS per individuare le aree di cantiere aperte per navigazione interattiva

Si prevede la pubblicazione attraverso WebGIS delle aree di cantiere individuando il territorio interessato e le sue tempistiche, le potenziali aree soggette a particolare disagio acustico e gli interventi di mitigazione temporanei individuati a livello progettuale per ridurne gli impatti, la viabilità ordinaria locale coinvolta e eventuali percorsi viabilistici alternativi al fine di evitare le aree di cantiere, oppure lasciare libera la ricerca di un miglior percorso alternativo personalizzato, gli interventi di maggior mitigazione che sono stati previsti (ad esempio la sistemazione di un tratto di viabilità locale, l'ampliamento di un parco gioco, ecc).

- Sviluppo WebGIS per il grafo della rete infrastrutturale

Attraverso WebGIS verrà implementato il grafo della rete infrastrutturale, il suo aggiornamento temporale con l'evolversi della consegna delle opere e la creazione di appositi strumenti di ricerca di percorsi personalizzati completi di calcolo delle distanze e dei tempi di percorrenza con possibilità di confronto con la situazione prima e dopo la realizzazione dell'opera.

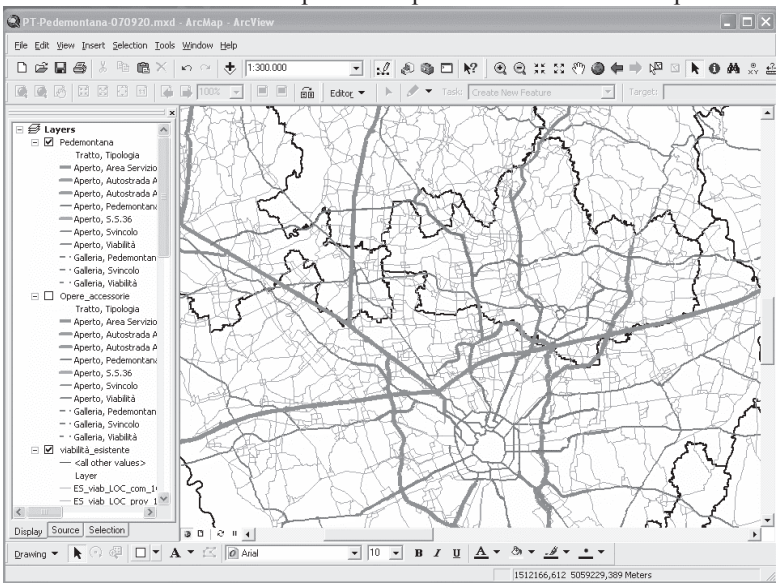


Figura 4 – Analisi infrastrutturale

- Sviluppo di un sistema di comunicazione real-time

I cittadini potranno registrarsi sul portale web ad un servizio di messaggistica in tempo reale via SMS o e-mail per ottenere informazioni di particolare interesse. Ad esempio un utente che inserisce, oltre che ai dati di residenza, il percorso abituale effettuato in automobile potrebbe essere avvisato circa particolari situazioni di stress viabilistico che lo riguardano, la riapertura di strade sottoposte a cantiere oppure la possibilità di stress acustico causato da movimentazione di macchinari nei pressi della propria abitazione. In tal senso si potrà pensare di estendere analoghi servizi di info-mobilità anche alla fase operativa di gestione dell'autostrada pedemontana.

- *Sviluppo WebGIS per localizzazione Point of Interest (POI)*

Analisi e classificazione dei potenziali punti di interesse, dai Servizi Pubblici ai Centri Commerciali, dalle Aree Verdi alle Aree Produttive, dai Centri Tecnologici ai Centri Culturali, ecc con la possibilità di individuare quali sono intercettati a partire da un particolare percorso, oppure di trovare un itinerario personalizzato che vada a toccare uno o più punti di interesse.

- *Sviluppo di un sistema di comunicazione integrato alla navigazione satellitare*

I navigatori satellitari sono già oggi molto diffusi e lo saranno sempre di più integrandosi con cellulari e PDA: attraverso questa modalità potranno essere erogate informazioni puntuali sullo stato della realizzazione dell'infrastruttura e delle modifiche alla rete infrastrutturale ordinaria. In particolare sarà possibile scaricare, sotto forma di POI, dal geoportale la localizzazione dei cantieri e delle relative tempistiche di apertura e chiusura. Inoltre attraverso la consultazione del WebGIS l'utente che è interessato all'individuazione di percorsi ottimali tra due punti qualsiasi dell'area potrà scaricare il percorso alternativo ottenuto (sotto forma di traccia GPS, attraverso il formato di interscambio GPX oppure qualsiasi altro formato supportato).

Servizi agli Enti Locali

Anche per tutti gli Enti Locali coinvolti dall'attraversamento della Pedemontana si offre una serie di servizi che permette loro di avere sempre una situazione aggiornata riguardante lo stato di avanzamento lavori, di visualizzare attraverso Sistemi WebGIS le aree interessate dall'attraversamento dell'arteria e di poter scaricare i dati in formato vettoriale per poter aggiornare le proprie basi cartografiche oppure scaricare direttamente l'aggiornamento della propria porzione di Data Base Topografico.

- *Sviluppo WebGIS per individuare le aree di cantiere*

Si prevede la pubblicazione attraverso WebGIS delle aree di cantiere evidenziando il territorio interessato e le sue tempistiche, l'individuazione delle potenziali aree soggette a particolare disagio acustico e gli interventi di mitigazione temporanei individuati a livello progettuale per ridurne gli impatti; la viabilità ordinaria locale coinvolta e i tempi di occupazione del suolo pubblico al fine di consentire all'Ente di poter pianificare le modifiche alla viabilità urbana, la presenza di eventuali percorsi viabilistici alternativi al fine di evitare le aree di cantiere e di comunicare ai propri cittadini tali modifiche evitando inutili ingorghi. L'individuazione e la localizzazione degli interventi di maggior mitigazione che sono stati previsti (ad esempio la sistemazione di un tratto di viabilità locale, l'ampliamento di un parco gioco, …).

- *Fornitura dati di aggiornamento*

Caratteristica e valore intrinseco di un DataBase Topografico è la possibilità di poterlo aggiornare nel corso del tempo con dati provenienti da diverse fonti e non solo periodicamente con voli aerofotogrammetrici; per cui saranno resi disponibili ai tecnici ed alle amministrazioni degli enti locali interessati i file di progetto, nei formati più opportuni. Inoltre il CAAM, partendo dai rilievi a lavori conclusi della Pedemontana, di tutte le sue opere accessorie e delle opere di compensazione sarà in grado di aggiornare il DataBase Topografico dei comuni interessati dalle citate opere. Data la strutturazione su più livelli del DataBase Topografico, a partire dagli aggiornamenti al livello più basso (comunale) sarà possibile derivare anche il DBT aggiornato anche ai livelli più alti (provinciale – regionale). Gli aggiornamenti saranno necessariamente conformi alle specifiche tecniche regionali e garantiranno la coerenza tra le varie basi cartografiche prevenendo eventuali discrepanze geometriche e semantiche.

- *Sviluppo WebGIS a supporto attività di pianificazione*

Attraverso la pubblicazione di questa tipologia di mappe ogni comune è in grado di ricercare all'interno del proprio territorio comunale le aree interessate dall'attraversamento della Pedemontana e l'intersezione con le aree di salvaguardia; sovrapponendo lo strato informativo del PRG/PGT viene resa disponibile la consultazione e la ricerca di quali aree omogenee sono interessate e quindi quali terreni sono soggetti ad esproprio e quali politiche di compensazione attuare sia in fase di cantiere che poi ad opera realizzata. È possibile, noti i dati, sovrapporre una serie di strati informativi ulteriori: ad esempio la rete dei servizi e sottoservizi tecnologici, individuando le sezioni che sono interessate ed evidenziando possibili e potenziali conflitti dovuti agli scavi e/o alle opere di cantiere.

INTEGRAZIONE TRA DATABASE TOPOGRAFICO E DATABASE ECOGRAFICO: UNO STRUMENTO PER IL GOVERNO DEL TERRITORIO E DEI TRIBUTI LOCALI

Stefano BELLINZONA (*), Fabio CERVI (*),
Cinzia DAVOLI (*), Andrea MAFFEIS (**)

(*) CAAM, Consorzio Area Alto Milanese, via De Gasperi, 2A 20031 Cesano Maderno (MI), tel 0362/301.578
fax 0362/622.173, e-mail promozioneterritorio@caam.mi.it www.caam.mi.it
(**) DIIAR Politecnico di Milano, piazza Da Vinci 32 20133 Milano (MI), tel 02/23996543
e-mail andrea.maffeis@polimi.it

Abstract
All'interno della struttura di un ente locale esistono una serie di informazioni che vengono raccolte e trattate in modo del tutto autonomo l'una dall'altra pur gestendo generalmente contenuti simili o relativi ai medesimi oggetti. Scopo della rilevazione ecografica è quello di rilevare e identificare in maniera univoca ogni singola unità immobiliare mediante un codice ecografico, raccogliendo l'informazione una sola volta e affidando a un solo ufficio preposto la sua manutenzione.
Con quest'ottica il Settore Promozione Territorio di CAAM (Consorzio Area Alto Milanese) per il Comune di Desio sta strutturando un Geo-DataBase contenente alcuni strati prioritari del database topografico, l'anagrafe e il database ecografico, al cui interno è stato creato il codice ecografico, secondo specifiche condivise. Il codice ecografico è quindi la composizione alfanumerica del codice via, numerazione esterna, barrato, scala e numerazione interna (individuando in questo modo una codifica"parlante"). Contemporaneamente viene aggiornato anche il database dell'anagrafe, inserendo il relativo codice ecografico nel rispettivo record dell'occupante e collegando gli estremi catastali dell'unità immobiliare (foglio, mappale e subalterno); quotidianamente le nuove informazioni vengono trasferite all'interno dei DB originari in modo che gli uffici siano già allineati e incomincino a mantenere aggiornati i loro dati. Alla conclusione dell'attività di rilevamento, ad ogni unità immobiliare è possibile collegare le informazioni di carattere anagrafico che vi sono registrate, i dati relativi alle utenze della tassa smaltimento rifiuti, i dati catastali di ogni singolo subalterno, i relativi versamenti ICI e le pratiche edilizie. In questo modo è possibile sia controllare e gestire completamente il territorio comunale, sia effettuare tutte le verifiche a termine di legge per la successiva e corretta applicazione del singolo tributo. Una volta conosciuta la distribuzione sul territorio di queste informazioni è possibile provvedere, in modo più trasparente e condiviso, attraverso l'analisi territoriale tipica degli strumenti GIS, alla regolamentazione delle tariffe e delle agevolazioni in maniera più efficace ed equa verso tutti i cittadini.

In the structure of a local authority there are numbers of information collected and treated in a manner that is fully independent of each other while managed generally the same content. The purpose of rilevazione ecografica is to detect and identify clearly each housing unit through a codice ecografico, collecting information once and entrusting only to an office responsible for its maintenance. With this in the Municipality Desio is structuring a Geo-database containing some layers priority topographical database, the registry, the database ecografico: inside was created an codice ecografico, according to specific shared, which is the composition alphanumeric of code street, numbering external crossed, scale and internal numbering (identifying in this way an encoding "speaker"). At the same time you update the database register, inserting its codice

ecografico in occupant's records and linking the land of real estate (leaflet, mappale and subordinate); daily the new information is transferred within the originating DB so that the offices are already aligned and begin to keep their data. At the conclusion of detection, for every unit of real estate you can connect information as anagrafic information which are registered, data relating to the users of waste disposal fee, the data of land each subordinate, the related ICI payments and building practices. This makes it possible to control and manage the whole municipality, to carry out any checks to legal deadline for the next correct application of single tribute. Once known distribution in the territory of this information is possible, more cleaned and shared, through the analysis of structural territorial typical GIS, regulation of tariffs and facilities more effectively to all citizens.

Rilievo ecografico

L'intero territorio Comunale è stato completamente censito durante l'anno in corso da un'equipe di ricognitori specializzati muniti di appositi palmari dotati sia della cartografia comunale aggiornata sia dell'elenco degli iscritti all'Anagrafe comunale. Questo personale tecnico ha percorso tutte le vie del comune aggiornando il *Data Base* (DB) predisposto appositamente, in particolare individuando e definendo la numerazione civica corretta, in conformità alle modalità indicate dall'ISTAT nel regolamento anagrafico previsto dal D.P.R. n. 223 del 30 maggio 1989 e compilando con le informazioni richieste le tabelle "CES" e "UES", l'una relativa agli edifici e l'altra alle unità immobiliari e agli aspetti qualitativi che vengono rilevate direttamente sul territorio.

La tabella "CES"(vedi tabella 1) individua tutti gli edifici presenti sul territorio e li qualifica con un codice numerico univoco (IdCe) che rappresenta la chiave primaria dell'entità. Tali edifici vengono inoltre catalogati per tipologia e classificati secondo via e numero civico. In cartografia è possibile riscontrare i dati catastali dell'edificio che poi verranno riportati in tabella a rilievo concluso mediante una sovrapposizione cartografica con le mappe catastali e uno *spacial-join* per importare le basilari informazioni catastali.

Ces										
IdCe	Stato	Tipologia	Via	Civico	Barrato	Scala	Piani	Note	Foglio	Mappale
12371	1	Autorimessa	VIA CANONICO VILLA	89	A		1			
12383	1	A blocco	VIA CANOVA	8			3			
12386	1	Villa singola	VIA ROMA	107			2			
12388	1	Condominio	VIA FREZZINI	3			4			
12394	1	Villa singola	VIA CASPANI PADRE EGIDIO	3			2			
12397	1	A blocco	VIA SCIESA	31			3			
12404	1	Villa singola	VIA POZZO ANTICO	71			2			

Tabella 1 – Estratto della struttura della tabella relativi agli edifici

La tabella "UES" (vedi tabella 2) individua, invece, tutte le unità immobiliari (distinguendo la destinazione d'uso in abitativa, produttiva, terziario, box, …) all'interno di ciascun edificio presente sul territorio. Ogni singola unità immobiliare è qualificata univocamente da un apposito **codice ecografico** (IdUe), composto da codice via – numero civico – barrato (eventuale) - scala (eventuale) – interno, che rappresenta la chiave primaria dell'entità.

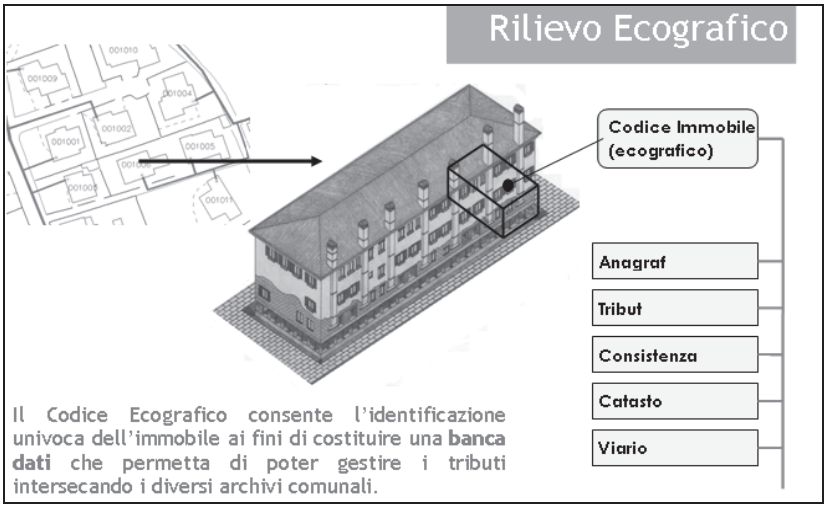


Figura 2 – Esemplificazione Codice Ecografico

Le unità ecografiche, oltre alla classificazione per tipologia e destinazione d'uso, identificano il numero dei piani e l'occupante, previa verifica di congruità, ed eventualmente integrano quanto riportato nei tabulati dell'Ufficio Anagrafe. Questa tabella è collegata alla tabella CES, che descrive gli edifici, mediante il codice edificio di appartenenza (Ce) inserita come chiave secondaria dell'entità.

Ues										
IdUe	Ce	Via	Civico	Barrato	Scala	Interno	TipoCivico	Piano	Destinazione	Occupante
215/18/A/B/1	11425	VIA VAY	18	A	B	1	AC	Ter	Residenziale	M--------A A-------O
26/10///3	11644	VIA SANTA LIBERATA	10			3	AC	1	Residenziale	M-------O R--------O D----O
167/8//A/1	17327	VIA EINSTEIN	10		A	1	VB	Ter	Residenziale	M--------I D-------A
36/45/C//2	13229	VIA PORTA	45	C		2	VB	Ter	Residenziale	C--------O E------A
84/26///1	15387	VIA BAREGGI	26			1	BL	Ter	Residenziale	D---------I A------E

Tabella 3 – Estratto della struttura della tabella relativi alle unità immobiliari

Le informazioni circa l'occupante saranno disponibili in tutti i casi in cui questa operazione sarà possibile mediante reperibilità della persona o attestazione della sua stabile presenza in loco; questo viene effettuato su tutte le unità a prescindere dalla sua destinazione d'uso.
Il DB nel suo complesso è in grado di mettere a disposizione, per analisi, interrogazioni, processi finalizzati al supporto delle decisioni, questo tipo di informazioni:
- Accessi: per ogni via viene registrato il numero di accessi distinguendoli in pedonali e/o carrai, ogni accesso viene riferito ad un fabbricato, (con la possibilità di poter misurare la larghezza massima di ogni passo carraio). Ogni anomalia nella disposizione della numerazione civica viene rilevata e segnalata all'ente per provvedere alla sua correzione e a tutte le implicazioni di natura burocratico-amministrativa che questa comporta.

- Fabbricati: viene rilevato ogni fabbricato utile presente sul territorio indicando la tipologia, il suo numero di piani, il codice fabbricato assegnato univocamente, il numero di interni, gli accessi pedonali e carrai, la presenza di box o rimesse e lo stato di conservazione generale.
- Unità immobiliari: all'interno di ogni fabbricato abitato si individuano gli occupanti. Ogni unità abitativa viene riferita ad un occupante accertato tramite il controllo dei tabulati anagrafici; eventuali anomalie vengono segnalate o su specifiche tabelle o direttamente in banca dati. Ad ogni unità immobiliare si assegna fisicamente (mediante apposizione di una targhetta di contenute dimensioni visibile all'accesso) un numero d'interno secondo la modalità operativa prevista dai regolamenti e linee guida definite dall'ISTAT.
Il censimento immobiliare è finalizzato ad individuare non solo le caratteristiche utili alla costituzione della Banca Dati, ma anche per rilevare la presenza di significativi cambiamenti al fine di restituire una cartografia e dati alfanumerici il più aggiornati possibili. In particolari questi dati rappresentano la base informativa di partenza per poter verificare le informazioni contenute e gestite dall'Agenzia del Territorio, in un'ottica di confronto, analisi e accertamento tributario.

Data base topografico
Il comune di Desio, inoltre, dispone di un Data base topografico (DBT) realizzato tramite un co-finanziamento regionale secondo specifiche tecniche condivise e conformi a quelle definite dall'Intesa Stato Regioni Enti Locali (IntesaGIS) all'interno di un progetto complesso che prevede la realizzazione di cartografia numerica attraverso DBT per tutti i comuni che andranno a costituire la provincia di Monza e Brianza. Il DBT in Regione Lombardia costituisce la base di riferimento geografica su cui si fondano i Sistemi Informativi Territoriali (SIT), tale base è condivisa tra gli enti e aggiornata in modo continuo: con questo strumento tutti gli enti (Comune, Provincia e Regione) avranno a disposizione la medesima cartografia in quanto Regione Lombardia provvederà a sostituire nel tempo la vigente Carta Tecnica Regionale (CTR) alla scala 1:10.000.
Nella sottostante figura 3 è rappresentato un estratto del DBT con le relative vestizioni grafiche secondo specifiche condivise, la visualizzazione degli oggetti attraverso un software GIS alla scala 1:1.000 e la consultazione delle informazioni alfanumeriche contenute in un oggetto territoriale tramite lo strumento *Identify*.

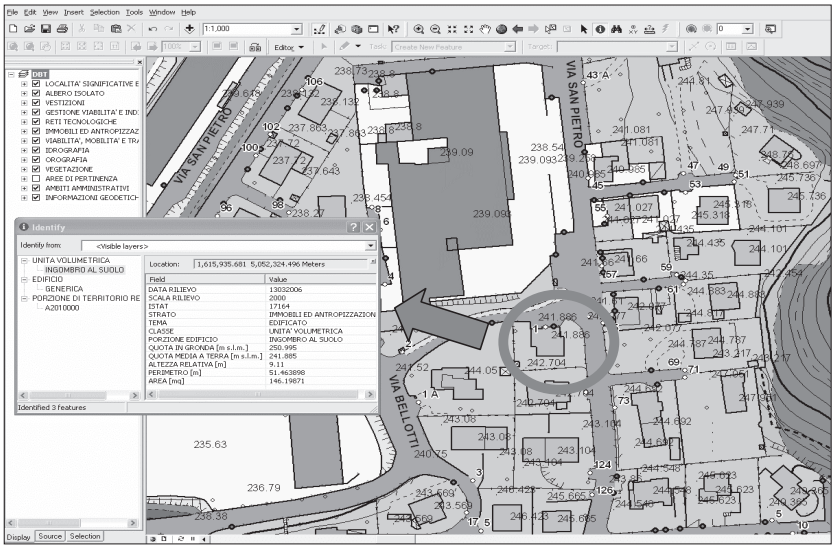


Figura 4 – Esempio di rappresentazione del DBT

Il territorio del comune di Desio è stato scelto, tra i 45 comuni partecipanti al bando di gara, come territorio pilota su cui andare a sperimentare la prima applicazione delle specifiche tecniche per la realizzazione dei DBT. Si tratta infatti di una cartografia altamente innovativa e sperimentale che si sta sempre più diffondendo su tutto il territorio regionale.
Inoltre sia il processo di produzione del DBT di Desio che ogni singolo prodotto cartografico, realizzato a conclusione di ogni singola fase operativa, sono stati anche sottoposti a verifiche di carattere formale da parte di Regione Lombardia che l'ha utilizzato per testare proprie procedure automatiche ed informatizzate per operare una serie di controlli formali riguardante la corrispondenza degli strati informativi con quanto previsto dalle specifiche tecniche.

Geo-Data Base

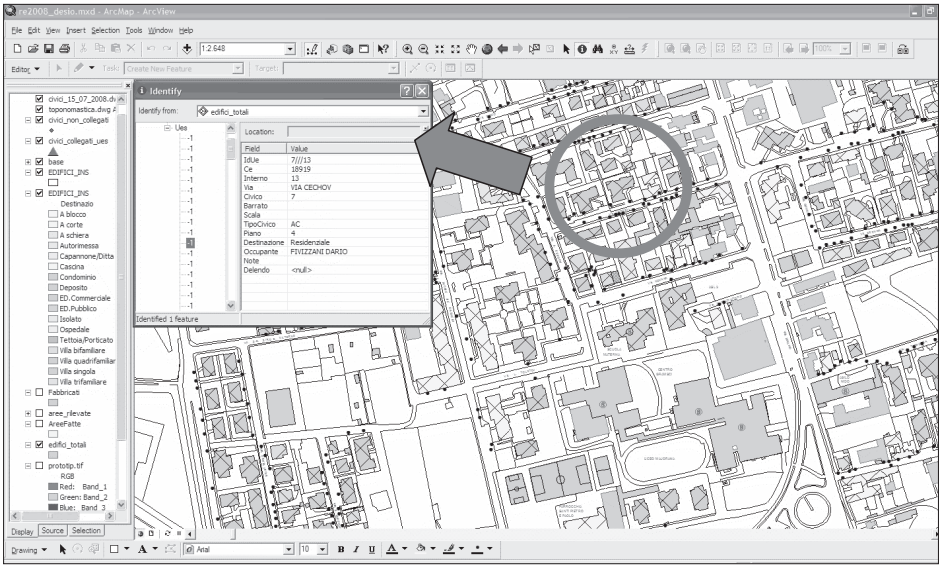


Figura 5 – Esempio di consultazioni da cartografia delle informazioni

Al fine di mantenere aggiornata e utilizzabile la banca dati così costituita si è provveduta a costituire un *Geo-Data Base* (GDB) integrando le informazioni censite dal rilievo ecografico con la struttura e le informazioni del DBT. In questo modo è possibile visualizzare il GDB con software GIS e, interrogando un qualsiasi edificio, è possibile individuare tutte le informazioni ad esso correlate (toponomastica, tipologia edilizia, ubicazione all'interno dell'edificio, destinazione d'uso, occupante) come si evince dalla figura 5. Il risultato finale di questo lavoro è una **Banca Dati** complessa e integrata, collegata alla cartografia comunale, contenente le seguenti informazioni:

- Dati edificio;
- Codice edificio;
- Riferimenti catastali;
- Numero di piani;
- Accessi pedonali e carrai;
- Numero di interni e destinazione d'uso di ogni singolo interno;
- Stato di conservazione del fabbricato con indicazione di eventuali ristrutturazioni o modifiche in atto;
- Occupante di ogni singolo interno abitato;
- Segnalazione degli interni ritenuti liberi;
- Segnalazione di anomalie o cambiamenti;
- Restituzione di una mappa comunale aggiornata come GDB;

- Attribuzione dei codici edificio su ogni singolo fabbricato;
- Segnalazione dei nuovi fabbricati, di quelli demoliti e delle variazioni significative dell'impianto viario;
- Completamento della mappa con la numerazione civica distinta in accessi pedonali e carrai.

Il GBD acquisito in questo modo costituisce la base informativa certa, integrata e correlata per la costruzione del Sistema Informativo Territoriale con l'ottica di integrare nel tempo tutte le banche dati comunali, fungendo da tramite, ad esempio fra il mondo demografico e quello tributario senza escludere legami con la realtà urbanistica. Infatti, utilizzando una codificazione degli oggetti per così dire "convenzionale" (via civico etc) , il DB ecografico, qualifica allo stesso modo una persona ed un immobile e si presta meglio a logiche di integrazione rispetto ad altri data base quali quello catastale che codifica gli immobili per foglio – mappale - subalterno e che non sempre è aggiornato da un punto di vista dei soggetti titolari di diritti. La conoscenza di un occupante spesso significa conoscenza del proprietario; questo dato può essere raffrontato con il catasto e gli archivi dei diversi servizi comunali. Ai fini, per esempio, dell'accertamento tributario o della verifica catastale, sovrapponendo la mappa catastale al fotogrammetrico si possono visualizzare gli edifici presenti in una e non nell'altro e viceversa andando così ad integrare le informazioni e a supportare l'attività di controllo del territorio, anche e soprattutto ai fini tributari. In questo caso le risultanze della rilevazione possono concorrere a chiarire se esistono immobili e di che tipo su edifici non accatastati: nel caso in cui un edificio non esista in cartografia, l'attività di rilevazione può offrire lo spunto per un successivo lavoro di aggiornamento. L'attività di ricognizione diretta sul territorio inoltre permette al comune di affinare la conoscenza del proprio territorio, analizzando ad esempio la percentuale di unità immobiliari vuote o le tipologie di edifici prevalenti al fine di definire modalità di diversificazione fiscale in modo certo, condiviso e trasparente.

Aggiornamento

Come tutti i dati che vanno ad alimentare i Sistemi Informativi, per mantenere la loro efficacia ed efficienza, anche il GDB deve essere costantemente mantenuto aggiornato. Tenendo in considerazione che i dati fondamentali del GDB sono due (il DBT e quello anagrafico) si è provveduto a predisporre due distinte procedure che permettono agli uffici di operare gli aggiornamenti in funzione del loro quotidiano lavoro e servizio. In particolare per il DBT si è attrezzato l'ufficio tecnico in modo che alla presentazione di una qualsiasi pratica edilizia (dai permessi di costruire alle dichiarazioni di inizio attività) il professionista incaricato del progetto provveda a fornire un file in formato cad (preferibilmente shape) contenete le geometrie necessarie ad aggiornare il DBT, georiferite secondo il sistema cartografico di riferimento nazionale (UTM-WGS84/ETRF89), divenuto lo standard di riferimento anche in Regione Lombardia dopo l'approvazione della Legge di Governo del Territorio (l.r. 12/05 e sue successive modificazioni) e dei suoi Criteri Attuativi, mentre provvederà il comune stesso, attraverso il proprio ufficio SIT ad aggiornare gli strati informativi oggetto di modifica. Questa attività al momento è in via di sperimentazione su alcune pratiche significative, in modo da poter meglio affinare la procedura e individuare con maggior precisione gli oggetti che, di volta in volta, vengono coinvolti. Contemporaneamente si sta verificando con l'ufficio Lavori Pubblici la modalità di aggiornamento del DBT e il suo utilizzo per la gestione, progettazione e realizzazione delle nuove opere pubbliche. Per quanto riguarda invece il dato anagrafico si prevede di aggiornare il DB in uso presso l'ufficio anagrafe inserendo tutte le informazioni mancanti (prima di tutto il codice ecografico) e poi collegare tale DB all'interno del GDB in modo da sostituire il dato desunto dal rilievo ecografico con quello ufficiale utilizzato dall'ufficio preposto. Questa azione garantirà l'operazione di aggiornamento continuo e quotidiano del dato anagrafico, e soprattutto l'univocità di tale dato all'interno della complessiva banca dati comunali, garantendone quindi la bontà e l'autenticità delle informazioni che vengono trattate. Questa attività attualmente è in via di definizione dal momento che si sta provvedendo a definire tutte le modalità operative e le procedure tecnico-amministrativo necessarie per l'aggiornamento completo del DB dell'Ufficio Anagrafe del comune.

GLI ANTICHI MONASTERI DEL KOSOVO: UN IMPIEGO PARTICOLARE DEL GIS

Tamara BELLONE (*), Francesco FIERMONTE (**) Gordana PAVLOVIĆ (***)

(*) DITAG, Politecnico di Torino, tamara.bellone@polito.it,
(**) DITER, Politecnico di Torino, francesco.fiermonte@polito.it
(***) dottore in Scienze Economiche, Belgrado, nmgpavlovic@adsl.yubc.net

Riassunto
A seguito della situazione geopolitica creatasi negli ultimi anni nella parte sud-occidentale della Penisola Balcanica, il grande e ricco patrimonio archeologico, artistico e culturale, rappresentato essenzialmente dai monasteri ortodossi, rischia gravi danneggiamenti.
E' perciò opportuno raccogliere, archiviare e rendere accessibili dati rappresentativi di tale patrimonio, utilizzando le funzionalità offerte da un G.I.S come strumento di conservazione della informazione storica, culturale ed artistica, operazione difficile date le condizioni sociali e politiche che si sono venute affermando.

Abstract
Due to political and social situation which followed local riots and war, in the SW part of Balcanic Peninsula, the large existant archaelogical and civil treasure, mainly the Orthodox Monasteries, is heavily threatened.
So, we need collect, record and make available all information data, which appear representative of this precious heritage.
A G.I.S. system has been developed to this aim, in order to save and store elements for historical, cultural, artistical information; this task is obviously made difficult, by present political, social and ethnical situation.

Introduzione
Il presente lavoro intende evidenziare la particolare situazione in cui si trovano oggi i monasteri della regione del Kosovo-Metohija. Malgrado molti di essi siano stati distrutti ed altri variamente danneggiati, la possibilità di mostrare su una mappa informatizzata la "rete" storica di questi manufatti religiosi, dei quali è rimasta comunque traccia, consente di:
- conservare la memoria e l'identità dei luoghi;
- ricercare e acquisire inedite testimonianze antropiche, storiche, architettoniche;
- segnalare eventuali possibilità di recupero;
- offrire spunti per nuove attività di monitoraggio e ricerca;
- valutare lo stato del recupero, ove si sia proceduto a lavori di ricostruzione e/o restauro;
- incoraggiare la fruizione di un patrimonio di alto livello storico e culturale, da parte di un vasto pubblico internazionale (turismo di qualità).
Per questo progetto, data la difficoltà intrinseca di reperire informazioni, si è cercato di contenere i costi sfruttando le potenzialità offerte dalla rete, sia per quanto riguarda l'acquisizione dei dati che la loro gestione.
L'interconnettività globale consente, infatti, non solo di mettersi in relazione con facilità con soggetti remoti (enti, istituzioni, ricercatori...) ma mette a disposizione anche gli strumenti, "open source" o "low-cost", che consentono di raccogliere e gestire la relativa documentazione senza disporre - o quasi - di complesse e costose infrastrutture. I dati associati possono essere trattati anche come semplici archivi di testo o files dbf, utilizzabili e condivisibili con estrema facilità.

Generalità sul Kosovo

Il Kosovo occupa una superficie di 10887 km^2 tra la Serbia in senso stretto, a nord e a est; la Macedonia a sud; l'Albania a sud-ovest; il Montenegro a ovest.

Esso si compone principalmente di tre unità: il bacino del Kosovo, il bacino della Metohoija, e quello del piccolo Kosovo e di una piccola parte della valle della Morava e del fiume Ibar.

Il clima è moderatamente continentale, con influssi mediterranei che giungono in Metohija attraverso la valle del Drim Bianco: per questo la Metohija ha un clima mite.

La rete fluviale è relativamente ben sviluppata, basti pensare ai fiumi Sitnica in Kosovo o al Drim Bianco che scorre attraverso la Metohija.

Per quanto riguarda le risorse economiche, importante è l'agricoltura, praticabile nel 65% della superficie del Kosovo. Si coltivano frumento, grano, alberi da frutta, vigneti.

Importanti sono l'allevamento del bestiame e la produzione di legname.

La ricchezza principale tuttavia deriva dai giacimenti minerari che furono coltivati già dall'epoca romana. Si tratta di giacimenti di piombo, zinco, argento, oro e altri minerari: la miniera di Trepča è forse la più importante miniera europea di piombo e zinco, sia dal punto di vista dell'estensione del giacimento, sia dal punto di vista della facilità della coltivazione.

Nei territori di Kosovo e Metohija vivono da molti secoli popolazioni serbe, montenegrine, albanesi, turche, rom, croate, egiziane, appartenenti a religioni diverse (prevalentemente cristiano-ortodossa, musulmana, cristiano-cattolica).

Note sulla scuola architettonica serbo-bizantina del Kosovo

Dai primordi preromanici (IX - XI sec.) in cui vengono costruite, sulle sponde dell'Adriatico e in Serbia, chiesette molto simili, in pietra, a una navata, si passa, tra il XII e il XV secolo, a una architettura che combina l'arte bizantina con quella occidentale.

Nei secoli XIII e XIV sorgono infatti in Serbia chiese e monasteri di non eccessive dimensioni, ma ricche di affreschi: Žica (1217), Miresevo (1234).

Tipico esempio di contaminazione di stili è Dećani (1327), località nella parte occidentale della regione del Kosovo: alla caratteristica della chiesa a tre o cinque navate romanica si unisce la particolarità della chiesa bizantina con le cupole. In questa chiesa l'influenza occidentale si manifesta anche nella divisione delle superfici architettoniche che sono ricoperte da composizioni di affreschi.

L'architettura sacra nel Kosovo – Metohija, nasce dunque nel solco dell'architettura medioevale serba, approfondendone le caratteristiche di contaminazione di stili bizantino, romanico e gotico.

Nel periodo dell'indebolimento di Bisanzio (XIII - XIV sec) i re serbi si espandono a sud verso le terre bizantine, determinando l'avvicinamento del modello di architettura ecclesiastica bizantina.

Compaiono le forme della croce inscritta, proveniente da Bisanzio e dalla Grecia. Spesso questa chiesa ha una sola cupola.

Il tipo di chiesa più articolato ha una cupola centrale e quattro più piccole cupole situate alle estremità della croce ed è il più diffuso nella architettura serba medioevale.

La struttura cresce dinamicamente in modo piramidale verso la cupola centrale. Questa tensione verso l'alto fa sì che le chiese assumano un aspetto monumentale, anche se sono di modeste dimensioni.

Un esempio tipico è Gračanica (1318), vicino a Priština.

Le stesse caratteristiche sono presenti in molte chiese costruite, in seguito, in Macedonia.

La presenza abbondante di affreschi è una importante caratteristica delle chiese e dei monasteri medievali serbi

Si possono distinguere due periodi fondamentali nella pittura serbo medioevale.

Tra il X e il XII secolo tale pittura si ricollega alla pittura mediterranea occidentale promossa dai benedettini della costa dalmata montenegrina.

Dal XIII secolo al 1459 (invasione turca) fiorisce la pittura serba, nell'ambito della pittura bizantina.

Nella chiesa di Ston (Croazia, XI sec.) si trova un affresco che costituisce il primo esempio di pittura serba in cui sono visibili gli influssi francescani e benedettini.

In seguito, la regione di Raška diviene il centro delle terre serbe ed assume, sotto la dinastia dei Nemanjić, la connotazione di importante centro culturale in cui si radunano gli artisti bizantini e i maestri del romanico provenienti dalle zone sud occidentali (costa dell'Adriatico).
Con il progressivo incrociarsi degli stili viene abbandonato il decorativismo tardo bizantino e si impone uno stile più secco, con contorni forti e larghe superfici. Un carattere tipico di questa pittura è il cielo che, da azzurro, diviene dorato; ma l'aspetto senz'altro più rilevante il tratto tagliente e non decorativo.
All'epoca di re Stefan di Dečani, sono presenti in Serbia i pittori greci provenienti dalla costa adriatica.
Gli affreschi del monastero di Dečani (1340-1354), pur rimanendo nel complesso ascrivibili all'arte ortodossa-bizantina, si differenziano notevolmente tra di loro, fino ad avvicinarsi, in alcuni casi, all'arte occidentale riguardo alla scelta dei temi e per i dettagli iconografici e ornamentali.
Le sconfitte subite dagli stati cristiani-ortodossi (Bulgaria, Serbia, Grecia) ad opera dei Turchi (Marica, 1374; Kosovo Polje, 1389) determinano una migrazione verso nord delle popolazioni greche, serbe e bulgare. Come spesso accade, tuttavia, i grandi mutamenti storici non determinano effetti culturali immediati sicché, in quel periodo, l'arte ortodossa fiorisce nella valle della Morava tra la Bosnia e la Bulgaria, esprimendo una notevole ed originale vitalità.
Con il prolungarsi del periodo ottomano, tuttavia, si verifica un mutamento pure in ambito artistico (XV-XVIII sec).
Anche se perdurava la libertà di culto non fu possibile edificare nuove chiese, ma le preesistenti vennero rinnovate e ornate.
L'arte si rifugiò nelle chiese e nei monasteri producendo esempi notevoli di arte figurativa tradizionale. La mancata influenza occidentale, tuttavia, non consentì la realizzazione dei capolavori presenti nell'arte russa o greca dell'epoca.
La storia degli affreschi dei monasteri del Kosovo si pone dunque, come già osservato per quanto riguarda l'architettura, nell'ambito dell'arte sacra medievale serba.



Fig.1 Affresco nel monastero di Dečani

Impostazione del progetto
In questa prima parte del lavoro, abbiamo cercato di:
-acquisire[1] gli elementi cartografici di base disponibili (limiti amministrativi, vie di comunicazione, idrografia, immagini aeree, informazioni digitali del terreno…) privilegiando, se possibile, le fonti istituzionali;
- raccogliere le informazioni storiche, sociali ed ambientali sull'area oggetto della ricerca;
- approfondire l'elenco dei manufatti religiosi in nostro possesso.

[1] Informazioni derivate da cataloghi *on-line* o acquisite ad-hoc.

Questa fase è stato verificata in loco oppure, più semplicemente, incrociando i dati in nostro possesso con:
- i registri delle autorità ecclesiastiche,
- le informazioni presenti su internet, incrociando e verificando le fonti con altra documentazione cartacea (ad esempio, i summenzionati registri)
- pubblicazioni e libri d'arte



Fig.2 I monasteri e le chiese della base dei dati

Abbiamo preso in considerazione in questo primo tempo 36 tra monasteri e chiese, esempi importanti da un punto di vista artistico, turistico, religioso (Fig. 2.).
Per contenere i costi di realizzazione della ricerca e per garantire, al tempo stesso, la massima fruibilità e diffusione dei risultati, si è cercato di utilizzare, per quanto possibile, procedure e

strumenti software di dominio pubblico, "*Open Source*"[2], evitando comunque di privilegiare formati dati non particolarmente diffusi. Seguendo queste linee di principio, le informazioni alfanumeriche, così come quelle cartografiche, sono state trattate ed elaborate privilegiando strumenti a basso costo e facilmente riproducibili. La stessa base dati concettuale[3] è stata modellata partendo da strumenti di pubblico dominio. Tuttavia, nel corso della ricerca (a volte per motivi di semplice praticità, in altri casi perché era necessario disporre di funzionalità avanzate non ancora presenti nell'ambiente *open*) si è fatto anche ricorso a strumenti *software* "commerciali".

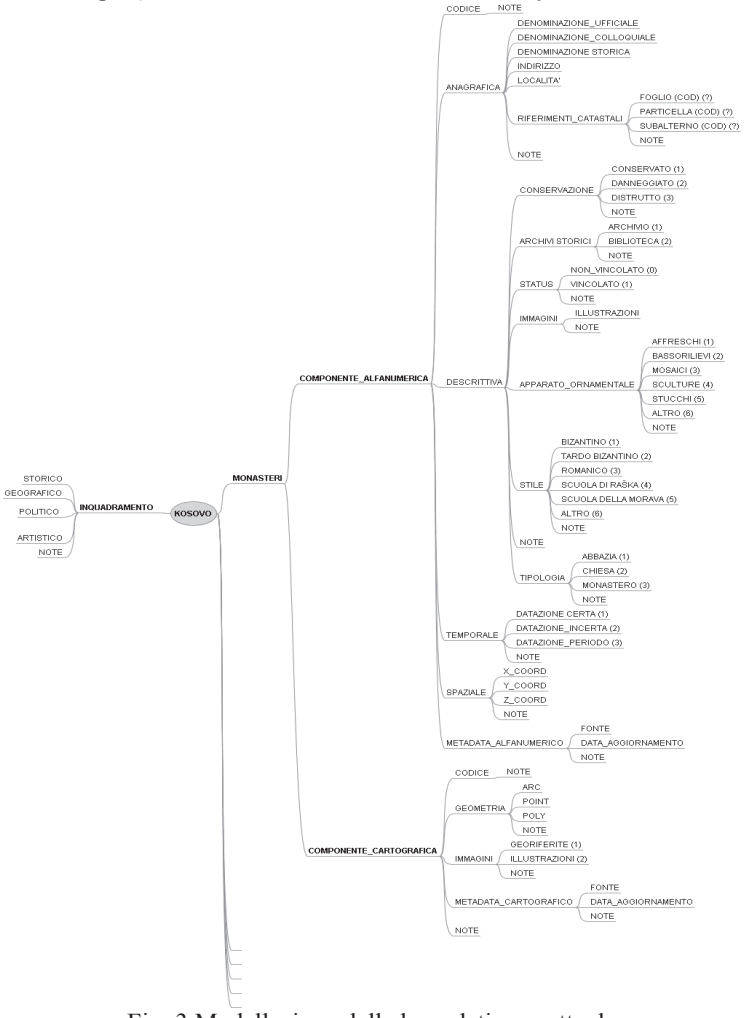


Fig. 3 Modellazione della base dati concettuale

Prospettive

L'obiettivo principale di questa ricerca è, almeno in questa fase iniziale, duplice: da un lato, mira a stimolare l'interesse internazionale sulle tematiche che intendiamo evidenziare, contribuendo, ad avviare progetti volti alla ricostruzione, ove possibile, del patrimonio artistico danneggiato o distrutto, seguendo le politiche adottate per molti monumenti europei nel periodo successivo alla

2 L'uso di strumenti *open* consente di mantenere basso il costo di *start-up* e di mantenimento del sistema.

3 Il Modello concettuale permette di rappresenta i dati indipendentemente dal sistema che si utilizza. Descrive i concetti del mondo reale.

seconda guerra mondiale (ad esempio il Monastero di Monte Cassino, il Tempio Malatestiano di Rimini, il Castello di Rivoli, le città di Dresda e Danzica, tra le altre...).
In caso di distruzione totale e di mancata possibilità di ricostruire i manufatti riportandoli alla loro precedente situazione, il nostro rapporto di ricerca ed i suoi elaborati cartografici potrebbero essere altrimenti riutilizzati:
- in campo archeologico poiché spesso le costruzioni, non solo quelle sacre, ma soprattutto queste ultime, sorgono sopra luoghi di culto preesistenti e possono indirizzare gli scavi per consentire l'eventuale emersione di stratificazioni precedenti;
- nel tentativo di ritrovare e salvaguardare antichi volumi, spartiti, oggetti sacri, seppure un intervento non tempestivo in loco faccia supporre che molto materiale sia andato perduto o sia stato oggetto di furti;
- in un' ottica di più ampio respiro, per favorire una proficua interazione tra gli abitanti della regione (mano d'opera, memoria storica, specialisti, linguisti, turismo culturale) in grado di sanare le passate lacerazioni e di dare un nuovo e proficuo impulso alla regione e al dialogo.



Fig.4 Monastero di Zočište nel marzo 2004 (sinistra) e prima (destra)

Sotto un profilo più propriamente storico le informazioni raccolte potrebbero essere elaborate mediante strumenti G.I.S. storico che indichino, permettendo un interessante confronto, lo stato di conservazione dei monumenti considerati nelle varie epoche storiche vissute dal territorio:
- stato originario serbo;
- dominazione turca;
- regno di Jugoslavia;
- Repubblica Federale jugoslava;
- oggi.
Il GIS avrà funzione di archivio e di accesso ai dati: verrà quindi presa in considerazione la presenza all'interno del sistema di una componente WEB in grado di assolvere, con semplicità e adattabilità, alla parte di pubblicazione dei dati.

Bibliografia e sitografia

- www.sumadinac.de/manastiri/
- www.kosovo.net/decani.html
- www.chwb.org/kosovo
- Kosovo je srce Srbije, Politika 2008, Belgrado
- Jugoslavia: gli affreschi medioevali, UNESCO, 1965
- ESRI Data & Maps - ArcGIS Europe Data Set, 2006
- UNEP, Grid Arendal, Maps and Graphics Library, http://maps.grida.no/
- Penn State University Library, Digital Chart of the World, http://www.maproom.psu.edu/dcw/

CALDERA DEI CAMPI FLEGREI: COSTRUZIONE DI UN SISTEMA INFORMATIVO GEOGRAFICO INTEGRATO

Eliana BELLUCCI SESSA (*), Salvatore BUONONATO (*),
Mauro A. DI VITO (*), Giuseppe VILARDO (*)

(*) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione Osservatorio Vesuviano
Via Diocleziano n. 328 Napoli, tel 081/6108350, mail: bellucci@ov.ingv.it

Riassunto
La caldera dei Campi Flegrei è una struttura vulcanica attiva, interessata negli ultimi 60 ka da una intensa attività vulcanica e da almeno due collassi calderici. Di questi, il più antico è connesso con l'eruzione dell'Ignimbrite Campana (39 ka) ed il più giovane con l'eruzione del Tufo Giallo Napoletano (15 ka). In entrambi i casi, il vulcanismo che ha seguito la formazione delle caldere è rimasto confinato all'interno delle medesime aree collassate. L'attività vulcanica posteriore all'eruzione del Tufo Giallo Napoletano è stata oggetto di studi approfonditi che hanno consentito di ricostruire la storia eruttiva, vulcanica e deformativa, e di classificare e caratterizzare le numerose eruzioni avvenute. Una precisa conoscenza della dinamica dei fenomeni naturali pericolosi e degli effetti sul territorio connessi con tali eventi è sicuramente uno degli elementi principali per ridurne l'impatto e mitigarne il rischio. Per tale motivo è stata realizzata una banca dati contenente tutte le informazioni relative ai parametri caratteristici delle eruzioni avvenute nella caldera dei Campi Flegrei. I dati, di natura molto eterogenea, provengono da fonti ed archivi in formato molto diverso tra loro e sono stati, pertanto, omogeneizzati e registrati in un'unica banca dati in ambiente GIS.

Abstract
The Campi Flegrei caldera is an active volcano, which was affected over the last 60 ka by an intense volcanic activity and at least two caldera collapses. The oldest caldera collapse is related to the eruption of the Campanian Ignimbrite (39 ka), whereas the youngest one, is related to the eruption of the Napolitan Yellow Tuff (15 ka). In both cases, the volcanism that followed the caldera collapses remained confined within the same collapsed areas. The volcanic activity subsequent to the Neapolitan Yellow Tuff eruption was the subject of detailed studies that allowed to reconstruct the eruptive, volcanic and deformation history, and to classify and characterize the several eruptions occurred in the area. An accurate knowledge of the natural phenomena dynamics and of the related effects on the territory, is the basic element to reduce the impact and to mitigate the risk. For this reason a database was produced containing all the information concerning the parameters of the eruptions occurred in the Campi Flegrei caldera. The data were collected from many sources and archives in very different file formats and, successively, were homogenized and stored in a single database in a GIS environment.

Introduzione
La caldera dei Campi Flegrei è una struttura vulcanica complessa, caratterizzata da una dinamica vulcanica e deformativa molto intensa. L'attività vulcanica, separata da periodi di quiescenza di durata variabile, in alcuni periodi è stata frequente e caratterizzata da eventi in prevalenza esplosivi e di magnitudo molto variabile. Durante i due eventi di maggiore energia, avvenuti rispettivamente 39.0 ka (Ignimbrite Campana – IC) e 15.0 ka (Tufo Giallo Napoletano - TGN), si sono verificati i

due collassi calderici principali. Il vulcanismo successivo si è concentrato in epoche di attività molto intensa. In connessione con le fasi più intense di questo vulcanismo si sono verificati anche significativi sollevamenti del suolo (Orsi et al., 1996; Di Vito et al., 1999).
La caldera e il suo sistema magmatico di alimentazione sono ancora attivi, come testimoniato dall'eruzione di Monte Nuovo del 1538 (Di Vito et al., 1987), dall'intensa attività fumarolica e idrotermale e dai recenti episodi bradisismici i cui eventi principali si sono verificati nel 1969-72 e 1982-84 e hanno generato un sollevamento di circa 3.5 m intorno alla città di Pozzuoli (Orsi et al., 1999 e referenze incluse, Chiodini et al., 2007). Negli ultimi anni sono stati effettuati molteplici studi e prodotti una grande quantità di dati, sulla base dei quali è stato possibile realizzare una dettagliata ricostruzione della storia vulcanica e deformativa della caldera (de Vita et al., 1999; D'Antonio et al., 1999; Di Vito et al., 1999; Orsi et al., 2004). Tali dati recentemente sono stati ulteriormente aggiornati sulla base dei risultati ottenuti da rilievi di campagna ed analisi di laboratorio. L'aggiornamento continuo di dati vulcanologici e morfostrutturali relativi alla caldera dei Campi Flegrei ha reso necessaria la realizzazione di una banca dati in ambiente GIS che ne consenta un rapido aggiornamento, nonché una loro facile ed idonea utilizzazione. La realizzazione di un sistema informativo, dedicato allo studio della dinamica vulcanica dell'area dei Campi Flegrei risulta, inoltre, essere strumento indispensabile per la produzione di statistiche, indicatori di base e di altre informazioni quantitative e qualitative occorrenti per valutare le reali condizioni di rischio vulcanico a cui è sottoposto il territorio.

Metodologia
Per la realizzazione del database si è proceduto alla raccolta ed all'integrazione dei seguenti dati derivanti da varie fonti e prodotti con differenti metodologie: a) dati altimetrici e di inquadramento geografico (Carta Tecnica Regionale e Modello Digitale del Terreno in scala 1:5000); b) dati bibliografici e carte geologiche e strutturali; c) dati prodotti sulla base dell'analisi di foto aeree; d) dati acquisiti durante specifiche campagne di rilevamento geologico e strutturale; e) dati ottenuti da analisi di laboratorio. La fase di acquisizione ha anche riguardato l'opportuna omogeneizzazione dei formati dei dati e del sistema cartografico di riferimento (UTM WGS84).
I dati raccolti sono stati suddivisi, sulla base della tipologia, nelle due seguenti categorie: dati morfostrutturali e dati vulcanologici.
Alla categoria dei dati morfostrutturali appartengono i seguenti elementi: a) linea di costa attuale; b) linea di costa relativa all'ultima ingressione marina avvenuta nel periodo 8.6-5.0 ka; c) limiti delle caldere dell'IC e del TGN; d) mappa degli elementi strutturali. Alcuni di questi dati sono stati acquisiti da fonti bibliografiche, altri sono stati identificati e cartografati sulla base di analisi interpretativa congiunta del Modello Digitale del Terreno (DTM) e delle foto aeree. All'attività di fotointrepretazione è seguita la validazione dei risultati mediante opportune verifiche sul terreno. A tutti gli elementi strutturali cartografati è stata successivamente associata una tabella di attributi contenente i seguenti campi: lunghezza della struttura, desunta o misurata in campagna, strike, angolo di immersione e lato ribassato del piano di faglia (Tabella 1). Il valore zero è stato assegnato nei casi di mancanza di informazione.

ID	STRIKE	DIP ANGLE	AGE[ka]	MEASURED	INFERRED	DOWNTHROW	LENGHT [m]
68	70	0	<15	1	0	0	800,73
62	47	0	<15	1	0	0	2240,56
208	49	0	<15	1	0	0	954,27
269	0	0	<15	0	0	3	45,87
268	0	0	<15	0	0	3	53,83
…	…	…	…	…	…	…	…

Tabella 1 – Esempio tratto dalla tabella relativa agli elementi strutturali della caldera dei Campi Flegrei.

Il criterio usato per l'assegnazione dell'ID è stato quello di utlizzare un numero progressivo decrescente in funzione dell'età dell'evento, tranne per le eruzioni caratterizzate esclusivamente da attività effusiva, a cui è stato assegnato il valore zero. Il valore dell'ID inizialmente assegnato, espresso in formato di numero intero a 2 cifre, è stato successivamente moltiplicato per 10 per la necessità di inserire, nella lista degli eventi eruttivi, altri eventi non noti precedentemente ed identificati sulla base delle analisi ed interpretazioni dei nuovi dati raccolti. In tal modo, ad esempio, all'eruzione denominata "Paleoastroni 3" che non era stata precedentemente identificata e che si colloca temporalmente tra l'eruzione di Agnano-Monte Spina (ID = 410) e quella della Solfatara (ID = 420), è stato assegnato un ID intermedio corrispondente a 415.
Il database, così strutturato, ha permesso di associare ad ogni evento eruttivo una serie di tematismi secondo lo schema illustrato in figura 2.

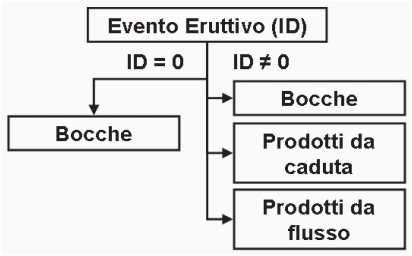


Figura 2 – Struttura del database; ID = 0 è assegnato indistintamente a tutte le eruzioni caratterizzate esclusivamente da attività effusiva; ID ≠ 0 identifica le differenti eruzioni caratterizzate da attività esplosiva.

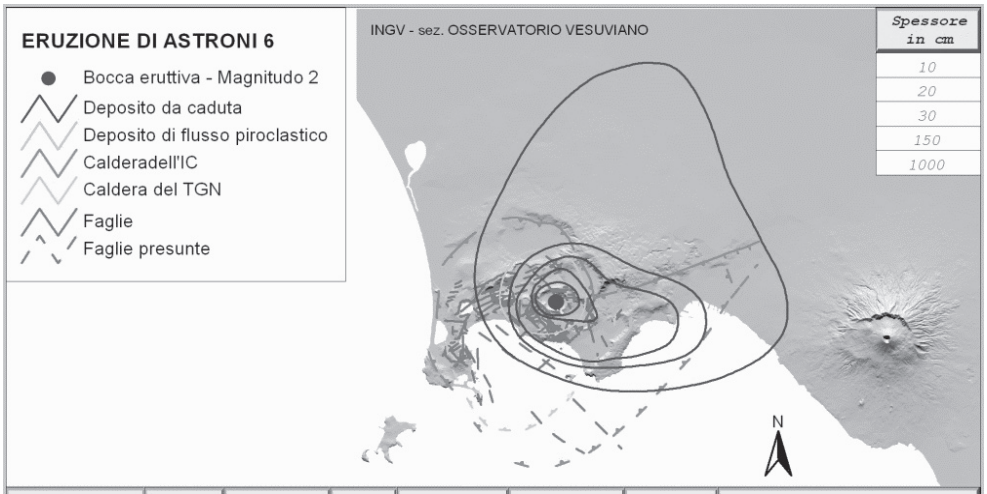
I dati relativi alle bocche eruttive sono stati acquisiti come elementi puntuali e nella rispettiva tabella degli attributi sono state inserite informazioni aggiuntive, quali: il nome dell'eruzione, l'età, la magnitudo, l'epoca di accadimento e l'eventuale sequenza di apertura delle bocche eruttive (Tabella 3).

ID	NOME EVENTO	ETÀ [anni B.P.]	EPOCA	SEQUENZA	MD
520	Monte Nuovo	460,00	3	1	1
510	Fossa Lupara	3780,00	3	1	1
500	Averno 2	3800,00	3	1	1
430	Astroni 1	3890,00	3	1	2

Tabella 3 – Esempio tratto dalla tabella relativa alle bocche eruttive.

Il tematismo relativo ai prodotti da corrente piroclastica è stato realizzato vettorializzando i limiti geologici della distribuzione areale del deposito, identificati sulla base di campagne vulcanologiche dedicate e da dati di bibliografia (Orsi et al., 2004 e referenze citate). Successivamente questi limiti sono stati tagliati sulla linea di costa attuale o, per le eruzioni più vecchie di 5.0 ka, sulla linea di massima ingressione marina del periodo 8.6-5.0 ka. Tale correzione è stata effettuata per evitare che l'assenza di deposito nelle aree di forte erosione per ingressione marina potesse essere interpretata come assenza di accadimento del fenomeno. I limiti sono stati modificati sulla base della morfologia del terreno (da DTM e foto aeree) e corretti per eventuali nuovi dati di terreno. La tabella degli attributi relativa alla distribuzione dei depositi da corrente piroclastica è stata compilata con numerosi campi aggiuntivi, quali: nome dell'evento, età assoluta e relativa, epoca di

accadimento, intensità dell'evento, magnitudo, densità del deposito, contenuto in CaO e Sr, classificazione petrografica (TAS) (Figura 4).
Il tematismo relativo ai depositi da caduta è stato realizzato vettorializzando le isopache disponibili dei depositi delle singole eruzioni. A ogni isopaca è stato associato il relativo valore dello spessore in centimetri. La relativa tabella degli attributi è stata completata con le seguenti informazioni aggiuntive: nome dell'evento, età assoluta e relativa, epoca di accadimento, intensità dell'evento, magnitudo, densità del deposito, contenuto in CaO e Sr, classificazione petrografica (TAS) (Figura 4).



Nome_event	Eta	Eta_rel	Epoca	Intensita	Magnitudo	CaO	TAS
Astroni 6	3.83	3834.00	3	4	2	3.37	trachyte to phonolite

Figura 4 – Rappresentazione dei dati morfostrutturali e dei dati relativi all'eruzione di Astroni 6 (dati da Isaia et al., 2004; Costa et al., 2008)

I dati così immagazzinati sono stati organizzati in modo da poter essere gestiti con una facile interfaccia di interrogazione e visualizzazione.
Per rendere più semplici le operazioni di visualizzazione è stato attivato un *Hot Link*, che permette di aprire e visualizzare automaticamente i documenti associati ad ogni singolo elemento. Il documento associato è stato realizzato come un *layout* di riferimento per ogni singolo evento eruttivo, nel quale sono riportate le seguenti informazioni: a) la posizione della bocca eruttiva dell'evento selezionato, con 4 simboli diversi in funzione delle classi di magnitudo degli eventi accaduti; b) l'area coperta dai depositi dei prodotti da corrente piroclastica; c) l'area coperta dai depositi da caduta, con associato un riquadro riportante lo spessore delle singole isopache; d) una tabella contenente alcuni parametri geochimici e petrografici relativi all'evento; e) la mappa strutturale della caldera flegrea con le faglie recenti e le caldere dell'IC e del TGN (Figura 4). Il sistema informativo così strutturato consente l'interrogazione del database mediante selezione rispettivamente o delle categorie di interesse o di un qualsiasi elemento presente nel quadro d'unione. Quest'ultima modalità di interrogazione consente l'accesso immediato a tutte le informazioni disponibili, correlate all'evento selezionato.
Nella figura 5 è riportato un esempio di visualizzazione di tutte le strutture e le bocche eruttive attive negli ultimi 15 ka. Tali tematismi sono sovrapposti alle informazioni sull'urbanizzazione dell'area.
In questo modo ogni singolo elemento rappresentato può essere interrogato e consente un rapido accesso a tutte le informazioni disponibili, relative all'elemento in oggetto.

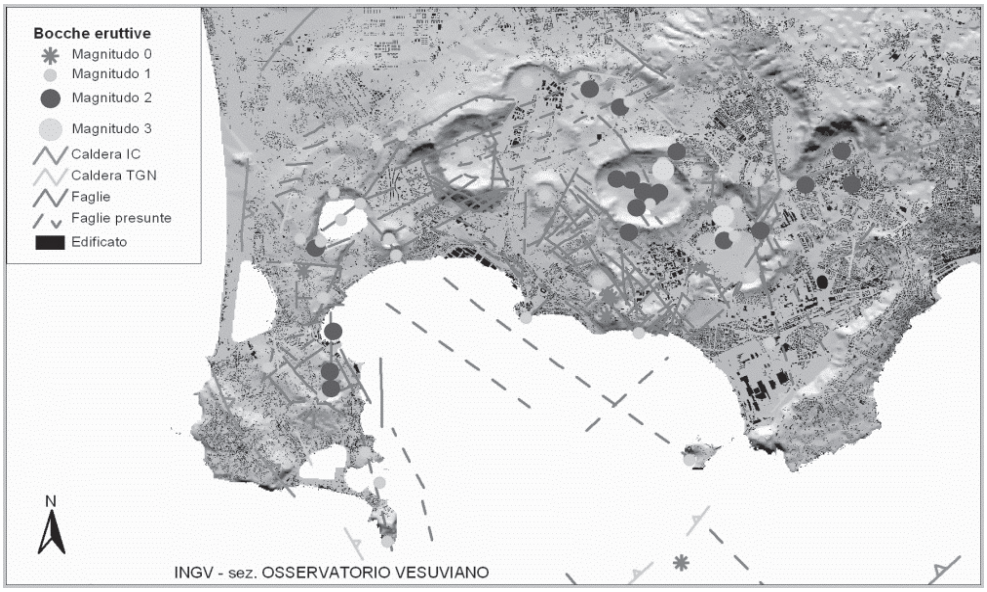


Figura 5 – Carta degli elementi strutturali della caldera dei Campi Flegrei, con indicazione delle bocche eruttive attive negli ultimi 15 ka, suddivise per classe di magnitudo. Come base è stato utilizzato un DTM (pixel 5 m) con sovrapposta l'urbanizzazione.

Conclusioni

Questo lavoro ha permesso di realizzare una banca dati in ambiente GIS contenente tutti i dati relativi agli eventi vulcanici e deformativi ed agli effetti ad essi associati che hanno interessato la caldera dei Campi Flegrei negli ultimi 15 ka. Il database è stato progettato in modo da poter essere aggiornato e/o implementato rapidamente. Il sistema così come strutturato si configura come un'indispensabile strumento informativo a supporto della ricerca consentendo, in tempi molto rapidi, la selezione, l'interrogazione e la rappresentazione di tutte le informazioni relative agli eventi di interesse. Il database realizzato in ambiente GIS consente inoltre di produrre mappe tematiche derivate dai principali dati e parametri raccolti e ciò al fine sia di approfondire l'analisi delle relazioni esistenti tra i diversi elementi e fenomeni rappresentati sia di formulare nuove ipotesi che possano aprire ulteriori prospettive di indagine.

Questo risulta di fondamentale importanza in un'area ad elevato rischio vulcanico ed abitata da circa 350.000 persone, nella sua parte attiva, ed da circa 2 milioni nelle aree circostanti.

Questa ricerca è stata realizzata nell'ambito del progetto INGV-DPC V3-2 Campi Flegrei.

Bibliografia

Costa A., Dell'Erba F., Di Vito M., Isaia R., Macedonio G., Orsi G., Pfeiffer T. (2008) "Tephra fallout hazard assessment at the Campi Flegrei caldera (Italy)", *Bull. Volocanol.*, DOI 10.1007/s00445-008-0220-3.

D'Antonio M., Civetta L., Orsi G., Pappalardo L., Piochi M., Carandente A., de Vita S., Di Vito M.A., Isaia R. (1999), "The present state of the magmatic system of the Campi Flegrei caldera based on a reconstruction of its behavior in the past 12 Ka", *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 91: 247-268.

de Vita, S., Orsi. G., Civetta, L., Carandente, A., D'Antonio, M., Di Cesare, T., Di Vito, M., Fisher, R.V., Isaia, R., Marotta, E., Ort, M., Pappalardo, L., Piochi, M., Southon, J. (1999), "The Agnano-

Monte Spina eruption (4.1 ka) in the resurgent, nested Campi Flegrei caldera (Italy)", *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 91 (2-4), 269-301.

Di Vito M.A., Lirer L., Mastrolorenzo G., Rolandi G., (1987), *"The Monte Nuovo eruption (Campi Flegrei, Italy)"*, *Bull. Volcanol.*, 49: 608-615

Di Vito M.A., Isaia R., Orsi G., Southon J., de Vita S., D'Antonio M., Pappalardo L., Piochi M. (1999), "Volcanism and deformation since 12.000 years at the Campi Flegrei caldera (Italy)", *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 91: 221-246

Isaia R., D'Antonio M., Dell'Erba F., Di Vito M., Orsi G. (2003), "The Astroni volcano: the only example of close eruptions within the same vent area during the recent history of of the Campi Flegrei caldera (Italy)", *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 3025: 1-22.

Orsi G., De Vita S., Di Vito M. (1996), "The restless, resurgent Campi Flegrei nested caldera (Italy): constraints on its evolution and configuration", *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 74: 179-214

Orsi G., Civetta L., Del Gaudio C., de Vita S., Di Vito M.A., Isaia R., Petrazzuoli S.M., Ricciardi G.P., Riccio C. (1999), "Short-term round deformations and seismicity in the resurgent Campi Flegrei caldera (Italy): an example of active block-resurgence in a densely populated area", *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 91: 415-451.

Orsi G., S. de Vita, M. Di Vito, R. Nave e G. Heiken (2003), *"Facing volcanic and related hazards in the Neapolitan area"*, In (Heiken G., Fakundiny R, Sutter J., Eds) *Earth Sciences in Cities*, American Geophysical Union book, Washington, pp. 121-170.

Orsi G., Di Vito M.A., Isaia R. (2004), "Volcanic hazard assessment at the restless Campi Flegrei caldera", *Bull Volcanol*, 66: 514-530.

CALDERA DEI CAMPI FLEGREI: POTENZIALITÀ DI UN SIT PER VALUTAZIONI DI PERICOLOSITÀ VULCANICA

Eliana BELLUCCI SESSA (*), Salvatore BUONONATO (*),
Mauro DI VITO (*), Giuseppe VILARDO (*)

(*) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione di Napoli "Osservatorio Vesuviano",
Via Diocleziano n. 328, Napoli, tel 081/6108350, mail: bellucci@ov.ingv.it

Riassunto
La caldera dei Campi Flegrei è un'area vulcanica attiva, attualmente in stato di quiescenza dal 1538 d.C., soggetta ad un elevato rischio vulcanico per la presenza di numerosi centri abitati e per l'immediata vicinanza alla città di Napoli. Le due maggiori eruzioni esplosive dei Campi Flegrei risalgono a circa 39 ka e 15 ka ed hanno prodotto l'Ignimbrite Campana ed il Tufo Giallo Napoletano, i depositi più noti dell'area napoletana, distribuiti su aree vastissime. Al presente, il sistema magmatico risulta essere ancora attivo, come testimoniato dall'eruzione di Monte Nuovo nel 1538, dai recenti episodi bradisismici e dall'attività fumarolica e idrotermale. Al fine di rendere disponibile alla comunità scientifica ed agli enti preposti alla gestione delle emergenze un efficace strumento tecnologico, a supporto delle valutazioni di pericolosità vulcanica, è stato implementato un sistema informativo territoriale strutturato sulla base di un database in cui sono state raccolte e organizzate tutte le informazioni vulcanologiche e territoriali sull'area. In questo lavoro, attingendo al patrimonio informativo disponibile, sono state effettuate analisi di dettaglio finalizzate alla produzione di nuovi tematismi da utilizzare per la definizione degli scenari di evento, attraverso i quali simulare le conseguenze di un evento vulcanico, di caratteristiche prefissate, che si verifichi nell'area dei Campi Flegrei.

Abstract
At the present, the Campi Flegrei caldera is an active volcano, in quiescence since AD 1538, subject to a high risk due to both the presence of many towns and the proximity of the city of Naples. The two major explosive eruptions are dated to about 39kyr and 15kyr and produced the well known Campanian Ignimbrite and Neapolitan Yellow Tuff, respectively, which covered a wide area. At present, the magmatic system is still active as testified by the 1538 AD Monte Nuovo eruption, by recent bradyseismic episodes, as well as, by the fumarolic and hydrothermal activity. In order to make available to the scientific community and to the institutions responsible for emergency management an effective technological tool to support volcanic hazard assessments, a geographical information system was implemented. It is based on a database containing all the available volcanologic and territorial information. In this work, the GIS system was used to perform detailed analyses aimed to the production of new thematic layers useful for event scenarios definition and for simulating the consequences of a volcanic event in Campi Flegrei.

Introduzione

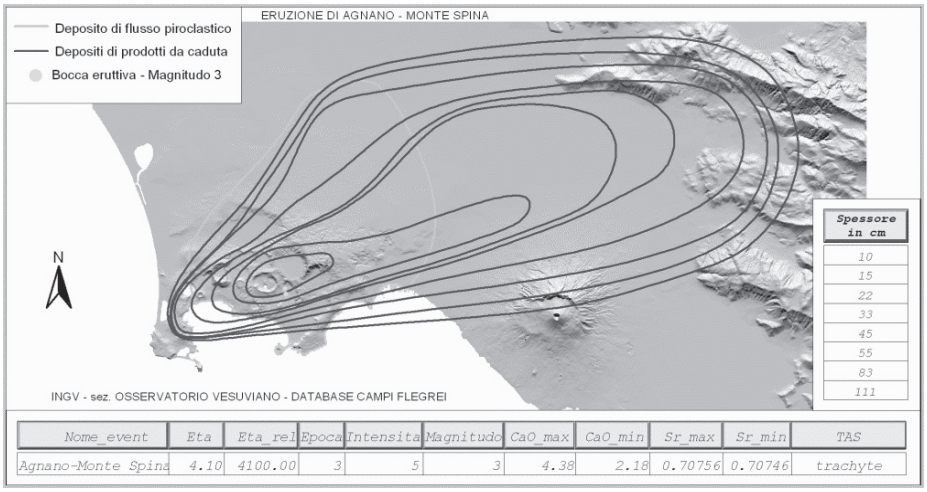
Nello sviluppo di attività finalizzate alla riduzione dei rischi naturali, è importante avere a disposizione strumenti di supporto decisionale che siano in grado di fornire un quadro dettagliato sia delle caratteristiche spazio-temporali dei fenomeni passati, sia dello stato attuale della realtà territoriale. In questo contesto, i sistemi informativi territoriali rappresentano strumenti gestionali

estremamente validi per la facilità di consultazione ed aggiornamento dell'informazione in essi strutturata e per le loro capacità di analisi e di rappresentazione di grandi quantità di dati derivanti da studi e ricerche di diversa impostazione e natura. In particolare, la tecnologia GIS applicata in aree soggette ad elevato rischio vulcanico, quale quella dei Campi Flegrei, rappresenta uno strumento indispensabile per acquisire conoscenze preventive, prefigurare scenari e simulare eventi che consentano di definire piani ed azioni per far fronte all'emergenza territoriale.
La caldera dei Campi Flegrei è una struttura vulcanica attiva, caratterizzata da una dinamica vulcanica e deformativa molto intensa. L'attività vulcanica di questo vulcano alterna periodi di quiescenza di durata variabile a periodi di attività frequente, caratterizzati da eventi di magnitudo molto variabile, in prevalenza a carattere esplosivo (Di Vito et al., 1999). Le due maggiori eruzioni sono rappresentate dall'Ignimbrite Campana (IC) e dal Tufo Giallo Napoletano (TGN), avvenute rispettivamente 39.0 e 15.0 ka dal presente, durante le quali sono avvenuti i due principali collassi calderici (Orsi et al., 2003 e referenze incluse). Il sistema magmatico è ancora attivo come testimoniato dall'eruzione di Monte Nuovo del 1538 (Di Vito et al., 1987), dai recenti episodi bradisismici (1969-72 e 1982-84) e dall'intensa attività fumarolica e idrotermale (Orsi et al., 1999, Chiodini et al., 2007).
Al fine di predisporre uno strumento tecnologico da utilizzare a supporto della definizione degli scenari eruttivi attesi nell'area della caldera dei Campi Flegrei, si è proceduto a registrare in un unico database in ambiente GIS (Bellucci Sessa et al., 2008) tutte le informazioni disponibili, integrate da altre acquisite ex novo, sulle eruzioni passate e sulla storia vulcanica, relative al periodo successivo all'ultimo evento deformativo (caldera del TGN) che ha modificato profondamente la struttura del vulcano (Orsi et al., 1996). La costituzione del database è stata, quindi, effettuata sulla base sia dell'informatizzazione di dati contenuti in diversi lavori recenti (de Vita et al., 1999; Di Vito et al., 1999; D'Antonio et al., 1999; Orsi et al., 2004; ecc.) in cui sono riportati dati ed elaborazioni sulle eruzioni avvenute, sulle caratteristiche e distribuzione dei depositi e sui pericoli cui sono esposte le diverse aree, sia sui risultati di specifiche campagne di misura di parametri vulcanologici e elementi morfostrutturali.
L'accurata ricostruzione della storia vulcanica e deformativa, unitamente allo sviluppo di un efficace sistema per la consultazione, l'aggiornamento e l'interrogazione dei dati, costituisce uno strumento indispensabile per la definizione dei possibili scenari eruttivi connessi ad una ripresa dell'attività vulcanica.

Il SIT vulcanologico: consultazione, interrogazione e produzione dei tematismi

Il SIT dei Campi Flegrei si basa su una banca dati in ambiente GIS (Bellucci Sessa et al., 2008), contenente tutti i dati e le informazioni disponibili relativi alle eruzioni degli ultimi 15 k anni. Il database è stato strutturato secondo una suddivisione dei dati nelle due seguenti categorie, distinte su base tipologica: dati morfostrutturali e dati vulcanologici.
Nella categoria dei dati morfostrutturali sono stati inseriti i seguenti elementi: a) linea di costa attuale; b) linea di costa relativa all'ultima ingressione marina avvenuta nel periodo 8.6-5.0 ka; c) limiti delle caldere dell'IC e del TGN; d) mappa degli elementi strutturali.
Nella categoria dei dati vulcanologici sono stati inseriti i seguenti tematismi, relativi ad ogni singolo evento eruttivo: a) posizione della bocca eruttiva e, ove presente, la sua migrazione nel corso dell'eruzione; b) limiti della distribuzione areale dei depositi vulcanici prodotti da correnti piroclastiche; c) curve di distribuzione (isopache) dei depositi da caduta.
Le tabelle degli attributi relative ai depositi sono state integrate con l'inserimento delle seguenti informazioni aggiuntive: nome dell'evento, età assoluta e relativa, epoca di accadimento, intensità dell'evento, magnitudo, densità del deposito, contenuto in CaO e Sr, classificazione petrografica (TAS). Inoltre ad ogni isopaca è stato associato il relativo valore dello spessore in centimetri.
L'insieme di dati elencati, unitamente a quelli relativi alle caratteristiche dell'area sorgente, ha permesso, non solo di poter aggiornare agevolmente e consultare nella loro globalità tutti i dati inseriti nel sistema, ma anche di produrre differenti carte tematiche, rappresentative della

distribuzione areale di parametri di rilievo vulcanologico, che si prestano a fornire utili contributi per la predisposizione di carte di pericolosità vulcanica.
La struttura del database consente una rapida ed agevole consultazione, elaborazione e rappresentazione dei dati in esso contenuti. Seguono alcuni esempi di applicazioni utili a chiarire le potenzialità del SIT.
E' possibile analizzare e rappresentare tutti i dati relativi ad un singolo evento eruttivo, quali la distribuzione areale dei depositi sul territorio, la magnitudo dell'evento, la posizione della bocca eruttiva, le caratteristiche fisico-chimiche dei prodotti, ecc. (Figura 1).



Nome_event	Eta	Eta_rel	Epoca	Intensita	Magnitudo	CaO_max	CaO_min	Sr_max	Sr_min	TAS
Agnano-Monte Spina	4.10	4100.00	3	5	3	4.38	2.18	0.70756	0.70746	trachyte

Figura 1 – Esempio di rappresentazione di tutte le informazioni collegate ad un evento eruttivo. Il caso di Agnano-Monte Spina (dati da de Vita et al., 1999).

In alternativa, è possibile interrogare la banca dati per individuare categorie di eventi con caratteristiche simili, quali ad esempio, la magnitudo, la posizione della bocca eruttiva o l'area coperta dai depositi.
E' possibile, ad esempio, selezionare e visualizzare tutti gli eventi aventi distribuzione areale dei depositi compresa tra i 10 e i 100 km^2, oppure quelli le cui bocche ricadono in una determinata area.
In figura 2 è rappresentato il quadro riassuntivo di una di queste interrogazioni riguardante la posizione della bocca eruttiva degli eventi avvenuti tra 4.8 e 3.8 k anni e ricadenti nel comune di Pozzuoli.
Interrogazioni più complesse consentono di selezionare determinate caratteristiche dell'evento e di rappresentarle secondo le modalità più adatte, al fine di individuare ed interpretare le eventuali relazioni esistenti tra i diversi parametri selezionati (p. es. le età o le posizioni delle bocche eruttive). Il sistema informativo, così come strutturato, oltre a consentire di elaborare e rappresentare singoli gruppi di dati, consente di produrre carte tematiche a valore aggiunto da utilizzare a supporto delle valutazioni di pericolosità vulcanica. Numerosi esempi di possibili applicazioni sono riportati in Orsi et al. (2004).
In particolare, sulla base delle informazioni inserite nel database è stato possibile, mediante semplici operazioni aritmetiche, produrre i seguenti due nuovi tematismi: 1) distribuzione areale della frequenza di accadimento di un determinato fenomeno eruttivo (es. la caduta di particelle o lo scorrimento di correnti piroclastiche ecc.); 2) distribuzione areale degli spessori e dei carichi al suolo connessi alla caduta di prodotti piroclastici generati da differenti eventi eruttivi.
La produzione di tali mappe, rappresentative della distribuzione areale della frequenza di accadimento di un determinato fenomeno geologico, consente di individuare e delimitare le aree che

in passato ne hanno sostenuto il maggiore impatto. Ciò consente, nell'ipotesi che le condizioni al contorno siano rimaste invariate, di ipotizzare quali siano le aree a diversa probabilità di subire, in futuro, gli stessi effetti connessi al verificarsi del fenomeno in questione. A tale scopo state prodotte carte della distribuzione della frequenza di accadimento di scorrimento di flussi piroclastici e di caduta di particelle (Figure 3 e 4).

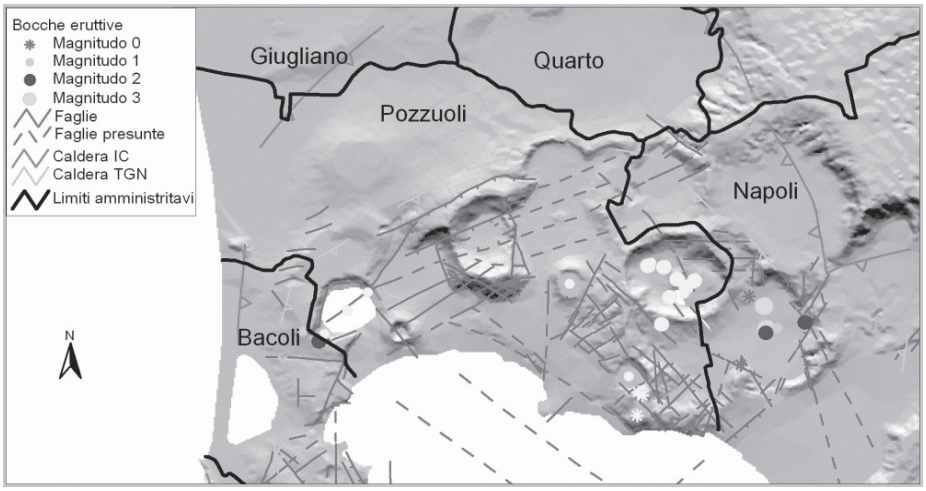


Figura 2 – Bocche eruttive di eruzioni avvenute tra 4.8 e 3.8 ka; in giallo la selezione di quelle che ricadono nel comune di Pozzuoli.

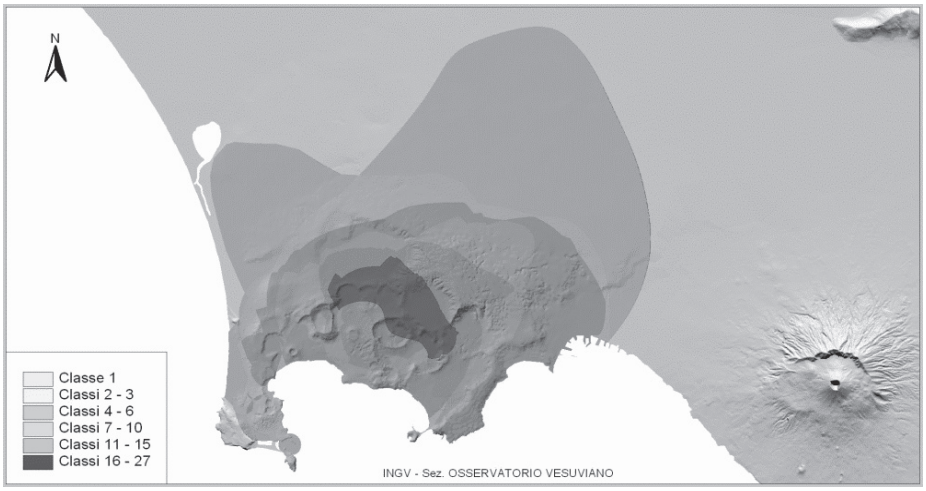


Figura 3 – Carta della distribuzione areale della frequenza di depositi da scorrimento di flussi piroclastici.

Questi tematismi sono stati realizzati utilizzando il modello "dati raster" che consente di ottenere informazioni a valore aggiunto, mediante la semplice applicazione di calcoli aritmetici a matrici numeriche, ottenute rasterizzando dati di input in formato vettoriale. In tal modo, e per epoche differenti, è stata calcolata la frequenza di scorrimento di correnti piroclastiche (Figura 3) e la frequenza di copertura maggiore di 10 cm da parte di depositi da caduta (Figura 4). I rispettivi valori ottenuti sono stati successivamente raggruppati in classi per rendere il risultato dell'elaborazione più leggibile ed interpretabile.

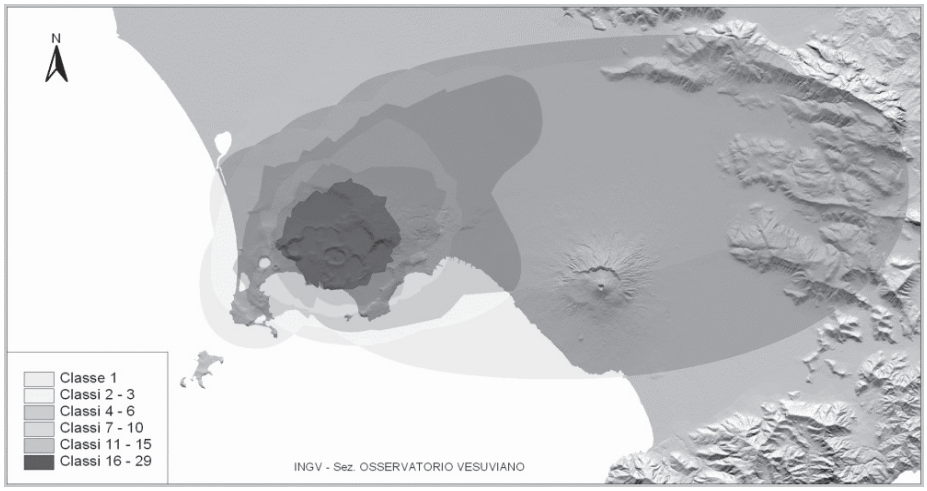


Figura 4 – Carta della distribuzione areale della frequenza di copertura maggiore di 10 cm da parte di depositi da caduta.

Il tematismo relativo alla mappa della distribuzione areale del carico cumulato dei depositi da caduta è stato prodotto assegnando ad ogni singolo deposito il relativo valore di spessore e densità. Il carico totale cumulato è stato quindi ottenuto mediante la semplice somma algebrica dei carichi totali calcolati per tutti gli eventi considerati (Figura 5).

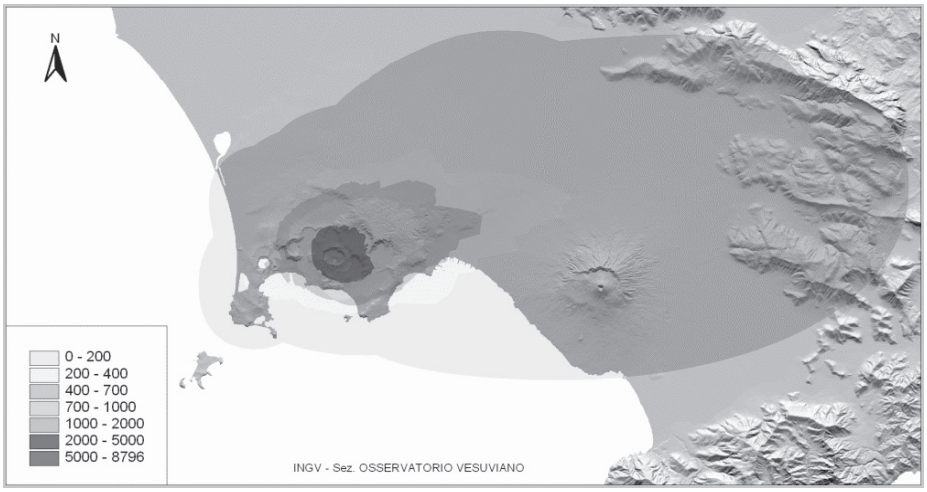


Figura 5 – Carta della distribuzione areale del carico cumulato, in kg/m^2, dei prodotti da caduta. I valori sono accorpati in classi.

Conclusioni

L'attività vulcanica della caldera dei Campi Flegrei necessita di essere ulteriormente analizzata per poter meglio definire gli scenari eruttivi attesi e poter quindi valutare con maggior precisione le aree maggiormente esposte a rischio. Infatti, per la definizione degli scenari eruttivi, risulta essenziale sia poter modellizzare adeguatamente la distribuzione spazio-temporale e la tipologia dei prodotti

che potrebbero essere emessi durante una futura eruzione, sia individuare le aree a maggiore probabilità di apertura di un centro eruttivo.
Allo scopo di realizzare un Sistema Informativo Territoriale, che oltre a costituire il supporto per future ricerche di settore, potesse fornire il necessario fondamento scientifico alle decisioni riguardanti la protezione e quindi lo sviluppo del territorio, sono state in primo luogo raccolte e classificate in un'unica banca dati tutte le informazioni di diversa natura e provenienza riguardanti la storia eruttiva dei Campi Flegrei.
Alla fase di implementazione del sistema informativo territoriale è seguita la produzione di una serie di carte tematiche originali quali, le carte di frequenza sul territorio dei fenomeni passati, la distribuzione della frequenza di apertura di bocche eruttive, del carico al suolo dei depositi da caduta, da utilizzare come informazioni di base per una corretta identificazione delle aree esposte a rischio.

Questa ricerca è stata realizzata nell'ambito del progetto INGV-DPC V3-2 Campi Flegrei.

Bibliografia

Bellucci Sessa E., Buononato S., Di Vito M.A., Vilardo G. (2008), "Caldera dei Campi Flegrei: costruzione di un sistema informativo geografico integrato", *Atti 12ª Conferenza Nazionale ASITA*.

Chiodini G., Vilardo G., Augusti V., Granieri D., Caliro S., Minopoli C., Terranova C. (2007), "Thermal monitoring of hydrothermal activity by permanent infrared automatic stations. results obtained at Solfatara di Pozzuoli, Campi Flegrei (Italy)", *J. Geophys. Res.*, 112, B12206, doi:10.1029/2007JB005140.

de Vita S., Orsi G., Civetta L., Carandente A., D'Antonio M., Di Cesare T., Di Vito M.A., Fisher R.V., Isaia R., Marotta E., Ort M., Pappalardo L., Piochi M., Southon J. (1999), "The Agnano-Monte Spina eruption (4.1 ka) in the resurgent, nested Campi Flegrei caldera (Italy)", *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 91:269–301.

D'Antonio M., Civetta L., Orsi G., Pappalardo L., Piochi M., Carandente A., de Vita S., Di Vito M.A., Isaia R. (1999), "The present state of the magmatic system of the Campi Flegrei caldera based on a reconstruction of its behavior in the past 12 Ka", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 91: 247-268.

Di Vito M.A. , Lirer L. , Mastrolorenzo G. , Rolandi G. (1987), "The Monte Nuovo eruption (Campi Flegrei, Italy)", *Bull. Volcanol.*, 49:608–615.

Di Vito M.A., Isaia R., Orsi G., Southon J., de Vita S., D'Antonio M., Pappalardo L., Piochi M. (1999), "Volcanism and deformation since 12.000 years at the Campi Flegrei caldera (Italy)", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 91: 221-246

Orsi G., De Vita S., Di Vito M. (1996), "The restless, resurgent Campi Flegrei nested caldera (Italy): constraints on its evolution and configuration", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 74: 179-214.

Orsi G., Civetta L., Del Gaudio C., de Vita S., Di Vito M.A., Isaia R., Petrazzuoli S.M., Ricciardi G.P., Riccio C. (1999), "Short-term round deformations and seismicity in the resurgent Campi Flegrei caldera (Italy): an example of active block-resurgence in a densely populated area", *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 91: 415-451.

Orsi G., de Vita S., Di Vito M.A., Nave R., Heiken G. (2003), "Facing volcanic and related hazards in the Neapolitan area". In: Heiken G, Fakundiny R, Sutter J (eds), *Earth Sciences in the Cities*, AGU, Sp. Publ. Series, Vol. 56, Washington, DC, pp 121–170.

Orsi G., Di Vito M.A., Isaia R. (2004), "Volcanic hazard assessment at the restless Campi Flegrei caldera", *Bull. Volcanol.*, 66: 514-530.

ANALISI AUTOMATICA DI DATI CARTOGRAFICI CATASTALI AI FINI DELLA INDIVIDUAZIONE DI DISCONTINUITÀ AREALI E DELLA LORO GENESI

Giovanni BELVEDERI (*), Roberto Maria BRIOLI (**),
Roberto GAVARUZZI (***), Barbara GUANDALINI (****)

(*) gbelvederi@regione.emilia-romagna.it,
(**) robertomaria.brioli@unibo.it
(***) rgavaruzzi@regione.emilia-romagna.it
(****) bguandalini@regione.emilia-romagna.it
Regione Emilia-Romagna - Servizio Sviluppo amministrazione digitale e sistemi informativi geografici

Riassunto

La recente disponibilità delle mappe catastali in formato digitale e le modalità della "*collaborazione applicativa*" di cui al *Codice dell'amministrazione digitale* consentono alla PA di ottenere dall'Agenzia del territorio, copia digitale dei dati catastali e di trattarli in ambito operazionale GIS.
La Regione Emilia-Romagna, nell'ambito del Centro di competenza regionale *Sigma Ter* e delle attività di sviluppo della infrastruttura regionale dati spaziali *Anagrafe del territorio*, ha come obiettivo la individuazione di procedure per il *best fitting* delle mappe catastali in ambito integrato GIS al fine di supportare le necessità operative dei Comuni nella fornitura ai cittadini dei Certificati di destinazione urbanistica.
A causa del processo etimologico gestionale catastale, sui bordi dei fogli di mappa esistono piccole discontinuità residuali che però sono molto noiose da trattare nella ricongiunzione geografica atta alla rappresentazione cartografica sul continuum territoriale.
Scopo della metodologia qui presentata, sperimentata sulle mappe dell'area bolognese, è quello di individuare automaticamente questo tipo di discontinuità tra fogli adiacenti al fine poi di studiarne l'etimologia per di valutare, caso per caso, le possibili proposte di soluzione tecnica da poi segnalare alla Agenzia del territorio.

Abstract

The recent availability of the cadastral maps in digital format them and the modalities of the "*collaborazione applicativa*" of which with the Italian *Code of the digital administration* concur with the PA to obtain from the Agency of the territory, digital copy them of the cadastral data and to deal them in operational within GIS
The Regione Emilia-Romagna, in the within of the Center of regional competence *Sigma Ter* and of the activities of given development of the regional spatial infrastructure *Anagrafe del territorio*, has as objective the location of procedures for the *best fitting* of the cadastral maps in integrated within GIS to the aim to support the necessities of the Common ones in operating within in the supply to the citizens of Certifys you of destination urban planning.
Because of the etimologico process managerial catastale, on the edges of the map sheets exists small residuali discontinuities that but are many borings to deal in the apt geographic ricongiunzione to the cartographic rappresentazione on the territorial continuum.
Scope of the methodology introduced here is that one automatically to characterize this type of discontinuity between adjacent sheets to the aim to characterize of then the etimologia and to estimate of the possible proposals of technical solution

1. Introduzione

La Regione Emilia-Romagna, nell'ambito del Centro di competenza regionale Sigma Ter e delle attività di sviluppo della infrastruttura regionale dati spaziali *Anagrafe del territorio*, ha come obiettivo la individuazione di procedure per il *best fitting* delle mappe catastali in ambito integrato GIS al fine di supportare le necessità dei Comuni in ambito operativo nella fornitura ai cittadini dei Certificati di destinazione urbanistica.
Dal punto di vista GIS ciò significa intersecare le zonizzazioni geografiche fornite dallo strumento urbanistico comunale con le definizione geografica delle particelle catastali; poiché lo strumento urbanistico in Emilia Romagna, in conformità con l'art. A-27 della LR 20/2000, è disegnato sulla cartografia tecnica regionale e/o comunale, il suddetto obiettivo si traduce operativamente nella ottimizzazione delle attività di proiezione della cartografia catastale sulla cartografia tecnica.
Ai fini di questa applicazione, schematicamente il processo cartografico catastale può essere così sintetizzato: **a)** nella prima parte del secolo scorso per ogni ambito territoriale comunale è stata rilevata una mappa catastale costituita da un insieme di fogli a "perimetro chiuso", ovvero con perimetro del campo cartografico tagliato lungo bordi di particelle; **b)** nel tempo molti atti di aggiornamento hanno modificato parte delle particelle tra cui alcune sul bordo dei fogli; **c)** modeste quantità degli aggiornamenti di particelle sul bordo dei fogli è stato introdotto "non in modo complementare" tra i fogli adiacenti.
Ciò ha generato delle piccolissime discontinuità che sono estremamente noiose quando si desidera, come è implicito in ambito operativo GIS, procedere ad una ricomposizione dei fogli di mappa catastale in un "unicum territoriale" senza soluzioni (e sovrapposizioni) di continuità.
Scopo della metodologia qui presentata, sperimentata sulle mappe dell'area bolognese, è quello di individuare automaticamente questo tipo di discontinuità e/o sovrapposizione tra fogli adiacenti al fine poi di studiarne l'etimologia e di valutarne proposte di soluzione.
Le procedure digitali adottate nella sperimentazione sono state possibili grazie alla applicazione del codice dell'amministrazione digitale; ovvero grazie alla possibilità da parte dei soggetti pubblici di ottenere con le modalità della "*collaborazione applicativa*" dall'Agenzia del territorio copia conforme dei dati catastali; in particolare grazie alla costituzione ed avviamento delle attività Centro regionale di competenza Sigma Ter dell'Emilia Romagna.

2. Individuazione delle anomalie di discontinuità e di sovrapposizione tra i fogli catastali

La prima elaborazione realizzata è stata quella di conversione dei dati cartografici catastali dal formato originale CMF, dato di intercambio dell'Agenzia del Territorio, al formato *shapefile*.

Quindi, in ambiente ArcGIS vers.9.2, abbiamo articolato l'attività di analisi in quattro fasi:

- **1°fase** - individuazione delle aree di discontinuità e delle aree di sovrapposizione tra fogli;
- **2°fase** - determinazione della larghezza delle aree suddette, ossia della distanza trai fogli o dello spessore della sovrapposizione;
- **3°fase** - classificazione delle aree in base alla larghezza;
- **4°fase** - selezione delle aree significative.

Le aree di discontinuità e le aree di sovrapposizione (v. Figure 2 e 3) sono state individuate separatamente attraverso la rielaborazione dello strato originale dei fogli catastali con i *tools* "*Symmetrical-difference*" ed *Intersect*. Una volta individuate le aree è stato aggiunto ai due *shape* il campo alfanumerico TIPO al quale si è attribuito il valore "Area non coperta da fogli" nel primo caso e "Sovrapposizione di fogli" nel secondo.
I due *shape* sono stati successivamente uniti in un unico strato poligonale il quale è stato trasformato in copertura di archi ArcINFO per poter determinare la larghezza delle aree.
La larghezza dei poligoni di sovrapposizione o di discontinuità, costituiti perlopiù da linee sub-parallele, è stata calcolata attraverso l'utilizzo del *tool* "*Collapse Dual Lines to Centerline*", uno strumento che disegna la linea mediana tra due segmenti sub-paralleli situati entro un certo intervallo di distanza.

Il calcolo delle *centerlines* è stato effettuato per diversi intervalli di distanza e a ciascun intervallo è stata associata una classe.

Classe	**Distanza** (m)	**Distanza** (m)	**Distanza** (m)
1	0,0 -1,5	7	15,0 - 20,0
2	1,5 - 3,0	8	20,0 - 30,0
3	3,0 - 4,5	9	30,0 - 50,0
4	4,5 - 6,0	10	50,0 - 100,0
5	6,0 - 9,0	11	100,0 - 200,0
6	9,0 - 15,0	12	> 200,0

Tabella 1 - *Classi associate agli intervalli di distanza tra confini dei fogli catastali*

Ad ogni poligono è stata quindi associata la classe della *centerline* corrispondente. Poi, visto il contesto dato dalle specifiche del programma di attività Sigma Ter, abbiamo considerato essere anisotropie significative solo quelle superiori a 3 metri, ovvero quelle comprese nelle classi 3-12.

Quindi in modo automatico è stata realizzata la copertura geografica delle anomalie; ovvero della individuazione dei poligoni con discontinuità e con sovrapposizioni delle classi 3-12.

3. Valutazione delle cause di anisotropie locali

L'indagine eseguita ha consentito di verificare diverse tipologie di anomalie, dovute per lo più ad errori "umani" in sede di conservazione della mappa, diversi a seconda del particolare che individua il confine tra due fogli.

3.a Anomalie in corrispondenza di particelle frazionate

Si è potuta constatare la sostanziale correttezza dei confini dei fogli rappresentati da confini di particelle che non siano state interessate da frazionamenti. Le "discontinuità" sono quasi sempre comprese nella tolleranza imposta di 3 m, a meno di zone impervie in cui sia difficile individuare il confine reale, non esattamente materializzato sul terreno.

In alcuni casi, quando la particella di confine è stata interessata da frazionamenti che hanno comportato la modifica del confine del foglio (ad esempio per la introduzione di un nuovo particolare topografico), la procedura ha messo in evidenza anomalie: in particolare sono stati individuati due diversi tipi di errore:

A) la nuova particella è stata "tolta" dal foglio di provenienza, ma non è stata "inserita" nel foglio di destinazione con la formazione di un "buco" nel continuo territoriale;

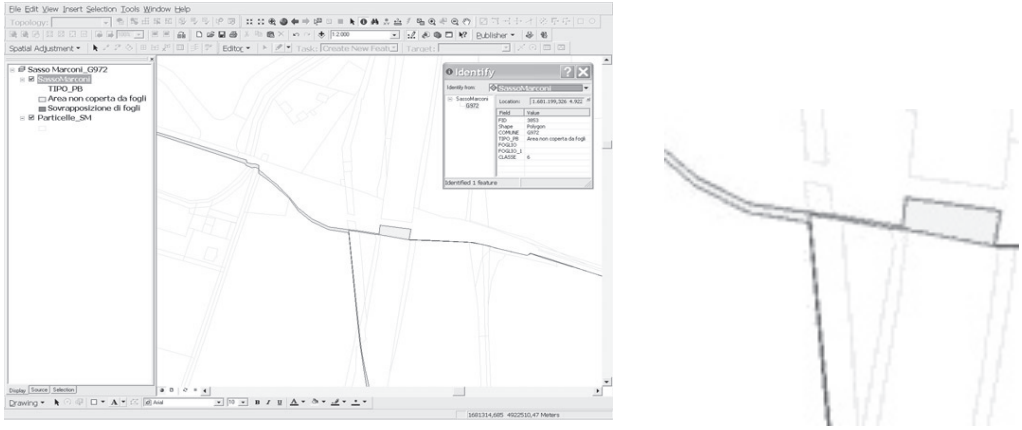


Figura 2 – *Esempio di discontinuità tra fogli catastali (Comune di Sasso Marconi)*

B) la nuova particella è stata "inserita" nel foglio di destinazione, ma non è stata tolta dal foglio di provenienza (area più scura) con la conseguente formazione di una "sovrapposizione".

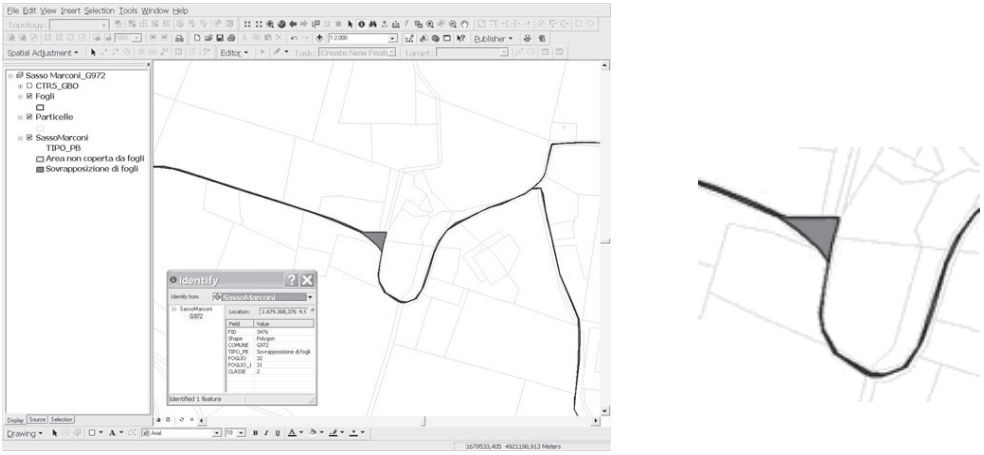


Figura 3 - *Esempio di sovrapposizione tra fogli catastali (Comune di Sasso Marconi)*

La correzione, da un punto di vista tecnico, è apparentemente semplice: si tratterebbe, nel primo caso, di inserire la particella nel foglio di destinazione e, nel secondo caso, di eliminare la particella dal foglio di provenienza.

In questa tipologia di errori rientrano anche quei casi in cui la nuova particella è stata eliminata dal foglio di provenienza ed inserita nel foglio di destinazione, ma il disegno del nuovo confine di foglio non è perfettamente coincidente; normalmente la differenza è modesta e si può proporre all'Agenzia del Territorio di procedere ad una correzione "automatica" dell'errore grafico con l'uso della *centerline*.

3.b Anomalie in corrispondenza di particelle "strade" o "acque"

Lungo i confini di fogli situati in corrispondenza di particelle "strade" o "acque" si sono evidenziati diversi tipi di possibili "anomalie".

L'elaborazione ha innanzitutto consentito di evidenziare una serie di errori riguardanti la rappresentazione del fiume Reno (v. Figura 4).

La causa di tali errori è stata individuata nella redazione, a fine anni '60 del secolo scorso, di un rilievo di aggiornamento del fiume che, dopo essere stato introdotto negli atti del catasto restringendo la sede fluviale, su disposizione dell'ex genio civile è stato poi modificato allargando nuovamente la parte destinata ad acque pubbliche. Il lavoro di "modifica" non fu portato a termine dal Catasto per carenza di mezzi e sono rimaste "discontinuità" di notevole entità al confine tra due fogli: il fiume non è rappresentato per l'intera larghezza, ma la correzione può essere fatta ripristinando i confini con l'uso della *centerline*, o in alternativa "riempiendo" la discontinuità in uno dei due fogli.

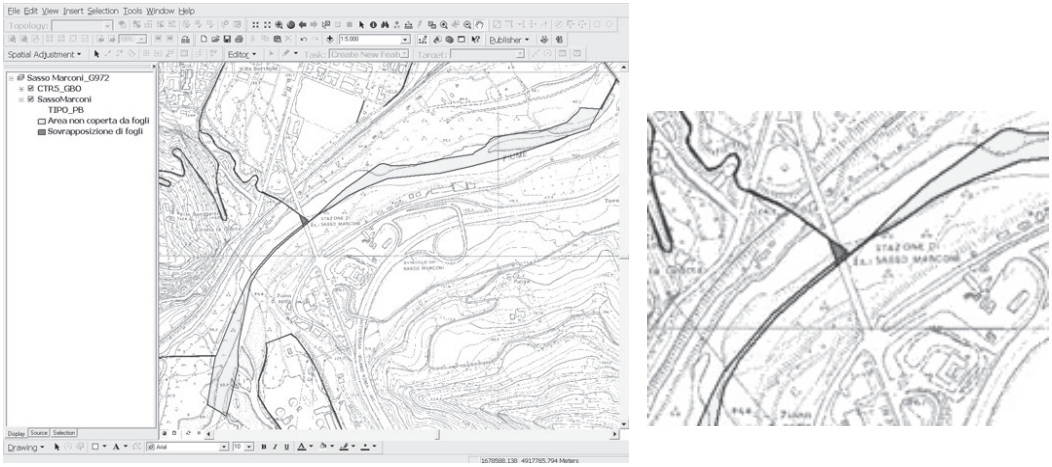


Figura 4 – *Discontinuità tra fogli catastali lungo il Fiume Reno (Comune di Sasso Marconi)*

Per quanto concerne il confine tra fogli adiacenti situati lungo una strada, invece, si sono riscontrati tre diversi tipi di errori, tutti di facile correzione.

C) la strada risulta rappresentata interamente su entrambi i fogli confinanti producendo la sovrapposizione(v. Figura 5). Per la correzione, basta decidere da quale foglio eliminarla, o, in alternativa, adottare una soluzione preferibile: indicare il confine del foglio nella mezzeria della strada, tramite la *centerline;*

D) la strada non è stata rappresentata su nessuno dei due fogli quindi appare una discontinuità (v. Figura 5); anche qui la correzione può essere fatta con l'utilizzo della *centerline;*



Figura 5 – *Esempi di discontinuità in prossimità di strade (Comune di Castello D'Argile)*

E) il confine è stato collocato nella linea di mezzeria che non è stata però disegnata in modo esatto, per cui sono presenti sovrapposizioni e/o discontinuità lungo i confini trai fogli (v. Figura 6); la correzione richiede ancora una volta l'uso della *centerline.*

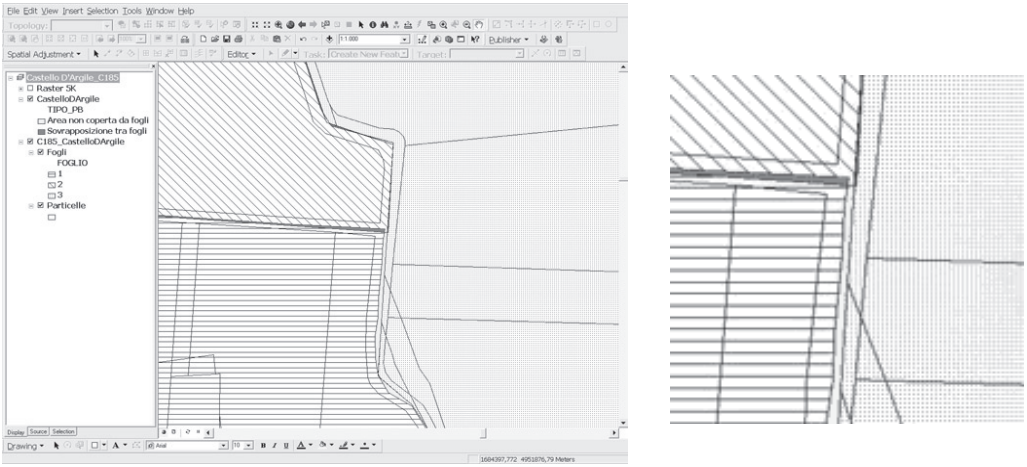


Figura 6 – *Esempio di discontinuità lungo la linea di mezzeria (Comune di Castello D'Argile)*

3.c Errori nei parametri

Si è evidenziato un errore macroscopico nell'indicazione numerica delle coordinate est della parametratura di alcuni fogli (v. Figura 6): parte della mappa risulta traslata di 200 m verso Est.



Figura 7 – *Traslazione di alcuni fogli catastali (Comune di Castello D'Argile)*

Si sono riscontrate altre discontinuità di minor entità causate da spostamenti dei parametri e dovute a distorsioni nelle riproduzioni (dalla mappa d'impianto alla matrice).

Errori di questo tipo, ossia nel posizionamento esatto dei crocicchi della parametratura, si possono eliminare se si hanno altri punti di coordinate note (trigonometrici o punti stabili di riferimento) correggendo quindi i crocicchi sulla base delle coordinate dei punti stabili di riferimento.

Conclusioni

La sperimentazione realizzata su parte del territorio bolognese conferma l'opportunità di estendere questo tipo di analisi all'intero territorio regionale. Confortante il fatto che nella maggior parte dei casi visti gli "errori materiali" sono non siano rilevanti per le proprietà private in quanto afferenti aree pubbliche fluviali e stradali; ovvero si presentano frequenti casi di possibile correzione da parte dell'Agenzia del territorio in ufficio e senza modifiche ai diritti immobiliari dei privati.

L'USO DELL'AEREOFOTOGRAMMETRIA AEREA PER LO STUDIO 3D DELLA FRANA DI SANTA VARVA IN PROVINCIA DI BENEVENTO (ITALY)

Massimiliano BENCARDINO (*), Pascal ALLEMAND (**),
Francesco M. GUADAGNO (***), Christophe DELACOURT (****)

(*) Laboratorio Sistemi Informativi Geografici per l'Organizzazione del Territorio;
DISAT - Università degli Studi di Salerno, Via Ponte don Melillo, 1; 089/962138 mbencardino@unisa.it
(**) Laboratoire de Sciences de la Terre; Université Claude Bernard Lyon 1 et Ecole Normal Supérieure de Lyon (France); allemand@univ-lyon1.fr
(***) Dipartimento di Studi Geologici ed Ambientali; Università degli studi del Sannio, guadagno@unisannio.it
(****) Laboratoire Domaines Océanique, Université de Bretagne Occidentale, Brest (France); christophe.delacourt@univ-brest.fr

Problematica

La comprensione del meccanismo che regola l'attività di una frana necessita di informazioni fondamentali inerenti la topografia, la morfologia e la cinematica della zona in esame.
L'obiettivo di questo lavoro è quello di estrarre parte di queste importanti informazioni a partire dall'aereofotogrametria ed approfondire le potenzialità di questo tipo di dati per ottenere una caratterizzazione quantitativa e non qualitativa dei campi di attività di una massa in frana.
L'obiettivo del lavoro è quindi quello di caratterizzare tridimensionalmente del profilo di terreno, definire preliminarmente le masse in gioco nell'evento franoso ed analizzare le evoluzioni superficiali del corpo di frana.
L'area di SantaVarva ricade in una tipica area collinare dell'Appennino meridionale. Il *range* degli spostamenti delle frane studiate è tra i 2,5 m/anno ed i 20 m/anno.

Metodologia

La metodologia proposta serve a realizzare cartografie degli spostamenti su scala spaziale e temporale che tengano conto anche della storia del movimento di instabilità.
Essa quindi prevede, come primo passo, la generazione in un modello digitale del terreno a partire da una sterocoppia di immagini aeree, georeferenziato grazie ad un congruo numero di coordinate geografiche acquisite attraverso un gps commerciale (in questo caso un Mobile Mapper Thales).
Il modello digitale del terreno è utilizzato per calcolare le pendenze, le variazioni verticali del terreno ed i campi di spostamento del terreno.
Si è lavorato sul periodo 1977-2003 e si sono prese in considerazione tre stereocoppie, temporalmente allocate negli anni 1977, 1991 e 2003, quindi sono stati generati i modelli digitali del terreno e si sono analizzati i cambiamenti avvenuti sul profilo.
Sono state, inoltre generate ortofoto a partire da questi DEM, e si sono analizzati i cambiamenti superficiali, sulle ortofoto, attraverso alcuni algoritmi di correlazione, scritti in ambiente Matlab.
La parte più onerose della metologia è la scrittura di algoritmi *"ad hoc"* per la georeferenziazione 3d dei DEM e per la correlazione delle immagini ortorettificate.
La tecnica innovativa applicata alle immagini è finalizzata a misurare gli spostamenti della serie di stereocoppie successiva rispetto a quella precedente. Dalla prima, in senso temporale, vengono estratte "finestre locali", ovvero piccole partizioni dell'immagine, che possano essere facilmente riconoscibili anche sulla seconda immagine. La misura dello spostamento delle finestre ottiche corrisponde allo spostamento del terreno. Stabilita quindi la correlazione tra le finestre ottiche, si ha una misura del cambiamento della superficie della frana.

La scelta della grandezza delle finestre è un compromesso tra la volontà di una descrizione puntuale e quella di avere un'immagine leggibile. Il metodo non ha limiti di precisione ma è legato alla scelta della grandezza delle finestre.
La bontà dei risultati è, infine, misurata attraverso una correlazione tra i risultati sulle immagini e misure al suolo con tecniche topografiche.
Tutti questi dati vengono allocati in un sistema GIS che permette di risalire al campo di spostamenti del terreno ad ogni acquisizione, ed avere un quadro completo delle aree interessate dal movimento.
La finalità dello studio è infine quella di avanzare una ipotesi sulla massa che è coinvolta dal movimento e le verifiche effettuate su tale tecnica hanno prodotto ottimi risultati.
Sarebbe, infine, possibile un'astrazione matematica della superficie di scivolamento della frana. Tale finalità è realizzabile allorquando si sono correttamente determinati gli spostamenti orizzontali e verticali del profilo della frana e tali spostamenti si presentano corretti e conguenti sull'intero profilo di frana.
Risulterebbe facilmente possibile fare una sommatoria di questi spostamenti, che sono solo superficiali ma, che consentono di fare una ipotesi piuttosto realistica sulla profondità del movimento franoso. I movimenti superficiali e profondi infatti presentano una certa coorelazione. Tale analisi esula però dagli obiettivi dello studio presentato.
In questo studio è evidenziato come le misure, siano esse effettuate attraverso le tecniche classiche o effettuate attraverso nuove tecniche GPS, mal descrivono interamente i campi di velocità della frana, causa la eterogeneità spaziale e temporale di dati al suolo.
Il range degli spostamenti della frane studiate è tra i 2,5 m/anno ed i 20 m/anno. Le mappe dei campi di velocità ottenute con questa tecnica sono comparabili con quelle ottenute attraverso l'interferometria differenziale SAR, ed è a questa assolutamente complementare. I limiti del DInSAR, quali il contrasto geometrico o la poca coerenza dei risutati in presenza della vegetazione, possono essere compensati da questa tecnica.

Localizzazione geografica e storia evolutiva

La frana Santa Varva ricade nel Comune di San Giorgio la Molara, provincia di Benevento. L'area, lungo la valle del Fiume Tammaro, è caratterizzata dall' affioramento esteso di terreni riconducibili alla Falda Sannitica. Si tratta, dal basso verso l'alto, di una successione costituita da argille policrome e risedimenti calcarei (Flysch Rosso) e da quarzareniti (Flysch Numidico), su cui poggiano in paraconformità torbiditi conglomeratici - arenaceo - pelitiche della Formazione di San Giorgio (Zuppetta et al. 2002).



Figura 2 - Rilievo geologico della frana di Santa Varva

Studi precedenti hanno constatato che la frana indicata è innescata dall'azione scalzante dei vari tratti del corso d'acqua, i quali si presentano sovente profondamente incassati o comunque poco protetti dalla coltre alluvionale, in genere poco spessa anche dove le maggiori sezioni del corso ne ha favorito la formazione, ed i valori di franosità potenziale sono elevati.
Non ci sono notizie precise riguardanti la prima attivazione della frana, ma attraverso testimonianze storiche raccolte presso gli abitanti del luogo e notizie bibliografiche, si è dedotto che il movimento franoso era già avvenuto agli inizi del 1970. Poco documentate sono anche le date delle successive riattivazioni.

Sempre secondo testimonianze dirette, negli ultimi dieci anni la frana si sarebbe riattivata in almeno tre diverse occasioni: Novembre 1985; Gennaio 1994; Gennaio 2003.
Tutti i casi di riattivazioni sono imputabili alle precipitazioni meteoriche che, prima e/o durante l'evento, hanno interessato direttamente il versante. Infatti, l'incremento delle pressioni interstiziali, indotto da eventi piovosi d'elevata intensità, costituisce un fattore determinante negli inneschi delle frane a causa di una rapida saturazione dei materiali più superficiali.

Elaborazione delle immagini
Un primo importante discrimine è stato usato nella scelta delle immagini da utilizzare nello studio; tra tutte le immagini disponibili, per fonte di acquisizione, quelle utilizzate ne sono solo una parte. E' necessario, infatti, che le acquisizioni siano ben distribuite nel tempo ed abbiamo una scala di acquisizione non troppo dissimile l'una dalle altre. Per questo motivo si è scelto di usare solo una delle fonti disponibili, ossia l'Istituto Geografico Militare Italiano.
Le stereocoppie analizzate, per l'area di Santa Varva (San Giorgio la Molara), hanno la seguente distribuzione temporale (in parentesi è riportata la quota di volo):
1954 (6'000 m la quota di volo);
1976/77 (4500 m la quota di volo);
1991 (6000/1:6100 m la quota di volo);
2003 (4600/1:5000 m la quota di volo).

Tutti i rilievi GPS sono stati catalogati secondo lo schema seguente, riportato a mo' d'esempio:

Nome punto	GCP	Ore	Descrizione	Foto	x (Est)	y (Nord)	z	Pdop
P1	1	11:20	Spigolo fabbricato		2514761	4571636	774	-
P2	2		Spuntone roccia affiorante		2514704	4571630	769	-
Pn	..		etc etc		…	…	…	…

Tabella 3 – Esempio dell'archiviazione dei dati GPS

Tali dati risultano fondamentali nell'analisi. Dare luogo ad una buona campagna di acquisizione dati diventa, quindi, molto importante; non sono pochi i problemi che possono sorgere, sia per errori in fase di acquisizione che per incomprensibilità ed impossibilità, a volte, di riconoscere il sito di acquisizione del punto GPS sulle foto. Errori che portano spesso a scartare alcune acquisizioni. Le campagne di misura sono elementi essenziali alla riprodu-zione dei modelli digitali del terreno ed è bene pianificare le campagne prima di andare *in situ*, e programmare griglie di acquisizione ben distribuite. Nel caso di Santa Varva si è provveduto a due tipi di acquisizioni: la prima ottenuta percorrendo l'intero corpo di frana, ed una seconda finalizzata alla ricerca di oggetti che rappresentassero dei punti fermi nelle immagini della serie storica. (figura 4).

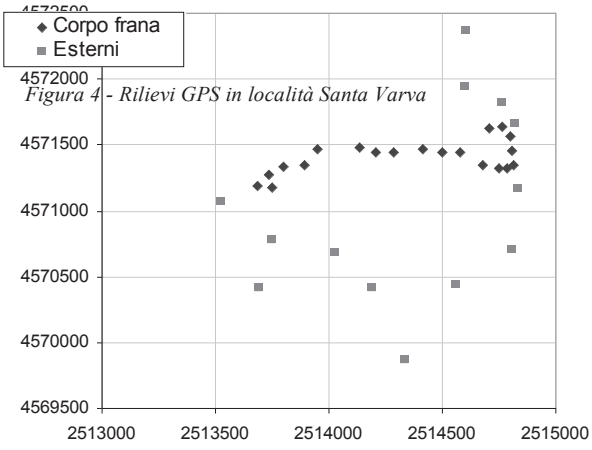


Figura 4 - Rilievi GPS in località Santa Varva

Avendo proceduto alla realizzazione dei DEM, nella tabella successiva (tab. 5) vi è un piccolo resoconto delle risoluzioni adottate sui DEM della frana di Santa Varva - S. Giorgio l.M. (Bn), nei vari anni.

	DEM (risoluz. migliore)	DEM (risoluz. media)	DEM (risoluz. bassa)
Anno 2003	2.6 m	5.1 m	10.3 m (fixed)
Anno 1991	2.9 m	5.8 m (fixed)	
Anno 1997	2.2 m	4.5 m (fixed)	

Tabella 5 – Risoluzioni adottate

Si può notare come nel caso dell'anno 2003 non sia stato sufficiente costruire un DEM ad una risoluzione media per chiudere tutti i buchi (alcuni pixel nell'*image matching* "falliscono", cioè pixel rimangono privi del proprio rispettivo coniugato) presenti nell'immagine, ma è stato necessario spingersi fino ad un DEM a risoluzione di 10.3 m; negli altri due casi, invece, è stato sufficiente fermarsi ad una media risoluzione per avere un DEM. I DEM estratti quindi hanno rispettivamente risoluzione di 2.6m (anno 2003), 2.9 m (anno 1991) e 2.2 m (anno 1977).
Per poter confrontare i DEM fra loro è necessario ricondurli ad una risoluzione comune, univoca. Si è scelto di ricondurre tutti i DEM alla risoluzione di 2.6 m ossia la risoluzione del DEM del 2003.

Risultati
Dopo una serie di elaborazioni è possibile giungere ad un confronto tra i vari DEM. In particolare qui viene esposto (figura 6) il confronto tra il DEM del 1991 e quello del 2003, ottenuto per D dalla quota verticale. In detta immagine è possibile notare chiaramente come siano presenti i segni di un movimento verticale del terreno. Essendo, infatti, questa una immagine della differenza tra i due DEM, è facilmente riscontrabile un movimento del terreno, sia nella parte di accumulo, dove è evidente anche ad occhio il volume di accumulo di colore verde, che in quella di alimentazione dove l'area erosa è evidenziata dal colore rosso.
E' inoltre possibile notare perfettamente il profilo del movimento franoso. Ciò significa averne colto, attraverso l'analisi, precisamente il cambiamento e quindi il movimento.
Tale movimento è non già quindi una semplice osservazione cromatica, ma un valore numerico calcolabile. Una prima valutazione di tale tecnica consente, quindi, di affermare che attraverso questa serie di operazioni matematiche esposte è possibile passare da una analisi qualitativa ad una analisi quali-quantitativa se non addirittura numerica delle volumetrie coinvolte.
I risultati numerici non vengono però riportati, perché, nonostante la buona riuscita dell'operazione ottenuta in alcuni casi, essi non possono essere stati verificati con analisi di campo che avrebbero legittimato i risultati numerici.

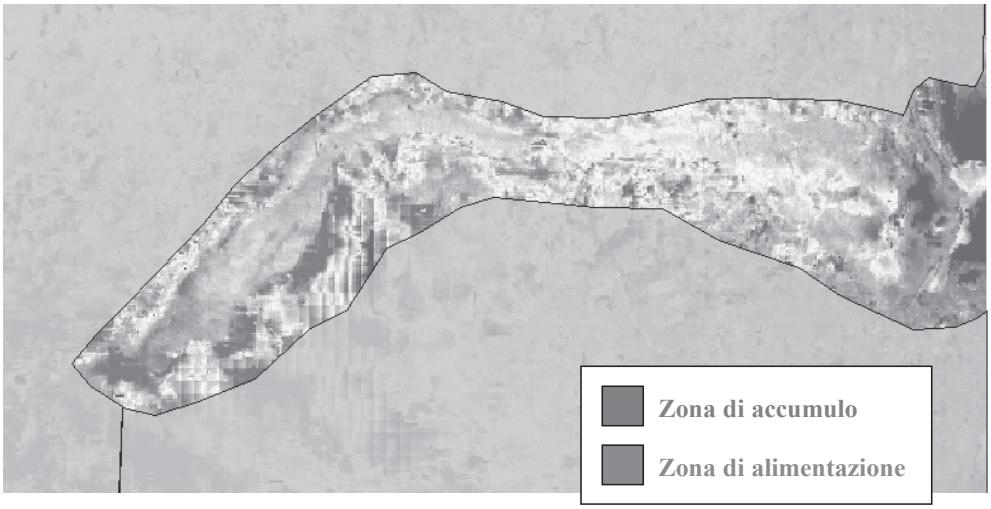


Figura 6 - Spostamenti verticali della frana di Santa Varva

Questo approccio è, infatti, ancora in fase sperimentale, e richiede una lunga fase di testing dei risultati, ottenibile solo con la contemporanea acquisizione di dati numerici al suolo degli spostamenti.
E', altresì possibile evincere dalla figura la natura del movimento intercorso tra l'anno 1991 e 2003. Vi è senz'altro un ulteriore accumulo di materiale a valle, frutto di riattivazioni di una frana già in atto anche nel 1977, e già prima del '55; tale accumulo è frutto di una erosione di monte che scorre lungo il canale di deflusso ed arriva fino alla parte di accumulo che tra il 1991 ed il 2003 si espande. Le direttrici del canale di deflusso sono bene evidenti e ben evidenziano le zone in movimento da quelle stabili. Il fenomeno è tutt'altro che in fase stabile.
La ulteriore analisi, che si è inteso effettuare, è quella poi della ricerca dei vettori spostamento. Questi si ottengono applicando l'algoritmo di correlazione alle ortofoto epipolari generate, ossia le immagini ortorettificate e sovrapponibili.
Gli algoritmi applicati su queste immagini sono stati diversi e l'algoritmo che ha dato un migliore risultato è quello basato sulla mutua informazione (misura statistica derivante dalla teoria dell'informazione), del quale ne vengono esposti i risultati (figura 7).
In particolare confrontando le ortofoto dell'anno 1991 e quelle del 1977 sono stati individuati alcuni vettori spostamento, che risultano coerenti con il movimento soprattutto nella parte a monte, nella parte di alimentazione. Tali vettori spostamento sono il risultato della correlazione e rappresentano i cambiamenti di una immagine rispetto all'altra, ma sono coerenti solo in una parte della immagine stessa.
Infatti, tali vettori ben evidenziano il movimento nell'area di alimentazione e la rotazioni stessa che il corpo di frana effettua nella parte a monte, individuando anche il punto di convergenza e di accesso del materiale in frana al canale di deflusso, esso stesso ben rappresentato nel suo scorrere verso l'area di accumulo. Ma l'immagine, nel suo complesso, dei vettori spostamento è corrotta da una deformazione complessiva dal lato Sud-Est al lato Nord-Ovest.
Il risultato esposto è quindi una carta dei vettori spostamento intercorsi sulla frana di Santa Varva (San Giorgio La Molara) tra l'anno 1977 e l'anno 1991.
Questo errore complessivo è attribuibile a due fattori fondamentali: una distorsione del primo DEM rispetto al secondo comunque non perfettamente corretta dalle operazioni matriciali compiute, ed un diverso stato vegetazionale dell'area nel 1991 e nel 2003. Infatti la semplice crescita di vegetazione in alcune aree o di contro il taglio della stessa possono mutare non poco il DEM e quindi corrompere i risultati, fortunatamente solo per zone esterne al profilo in frana.

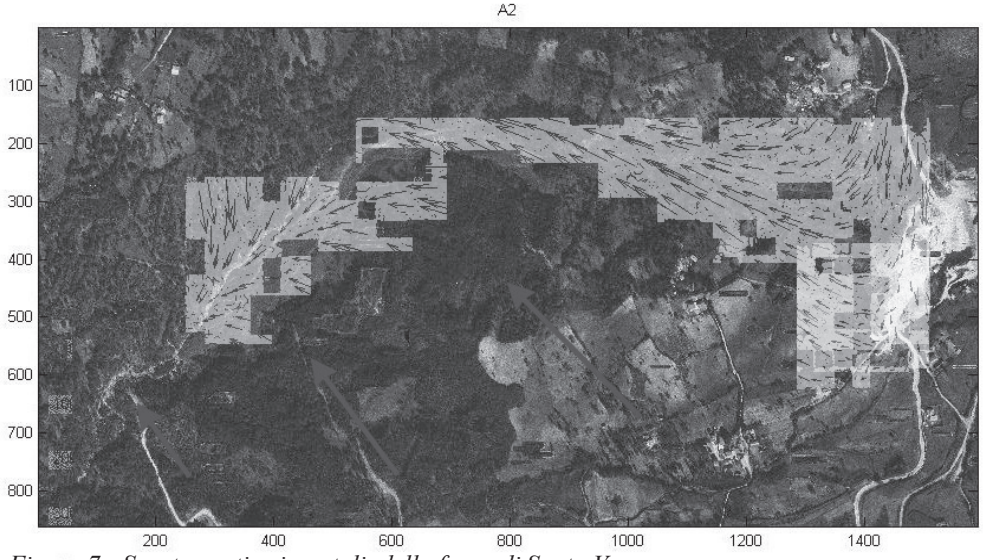


Figura 7 - Spostamenti orizzontali della frana di Santa Varva

Anche in questo contesto, non vengono presentati risultati numerici ma soltanto grafici per la difficoltà di ricondurli a numeri assumibili come reali, ma la distribuzione dei vettori ottenuti rappresenta un risultato perfettamente congruente con il movimento franoso di Santa Varva e proporzionato alle aspettative. I risultati ottenuti si presentano complessivamente positivi e, nonostante gli errori e le approssimazioni cumulate siano tali che richiederebbero uno studio apposito, essi si presentano complessivamente utili e congruenti con gli obiettivi proposti.
A valle dell'analisi effettuata si può quindi affermare che la tecnica può avere un campo di applicazione anche su frane di non notevoli dimensioni (più facile è infatti l'applicazione su frane di grandi dimensioni), anche se l'ottenimento dei risultati presentati ha necessitato una analisi approfondita, puntuale ed un lungo procedimento iterativo.
I parametri che maggiormente hanno dato luogo alla complessità di analisi sono risultati anzitutto la scala di analisi (mediamente di 1:30'000) e la qualità dalle immagini stesse.
Per migliorare i risultati e spingersi nella ricerca di valori numerici si dovrebbe, quindi:

- cercare di utilizzare scale fotografiche di analisi più basse (1:10'000 ÷ 1:15'000);
- ottimizzare gli algoritmi di analisi, i quali lavorano ottimamente in altri campi di applicazione ma sono ancora in una fase sperimentale in questo tipo di analisi;
- utilizzare GPS non commerciali o che garantiscano approssimazioni migliori di 2÷3 metri in orizzontale;
- prefigurare analisi su frane il cui profilo superficiale si presenta meno stravolto e con elementi puntuali più riconoscibili, che possono essere anche elementi introdotti quali pali, massi, riconoscibili da satellite;
- operare su immagini che abbiano un intervallo temporale inferiore.

I risultati, quindi, hanno prodotto DEM con risoluzioni nell'ordine di qualche metro (2 ÷ 3 metri) e vettori spostamento di precisione sub-metrica. Nulla si può dire però, alla luce delle riflessioni esposte, riguardo l'accuratezza dei risultati ottenuti. Operando, nel futuro, secondo gli accorgimenti precedentemente esposti si può senz'altro arrivare a risultati di precisione ed accuratezza submetrica. Tali risultati permetterebbero anche di poter fare una astrazione sulla superficie di scorrimento ed un calcolo preciso delle volumetrie in gioco.

Riferimenti bibliografici

Allemand P. et alii (2004), "Velocity fields of the "La Clapiere" landslide measured by the correlation of aerial and QuickBird satellite images", *Geophysical Research Letters*, Vol. 31, EGS.
Casson B. et alii (2004), "Seventeen years of the La Clapiere landslide evolution analysed from ortho-rectified aerial photographs", *Engeenering GEolog*, Elsevier Vol. 68, pp. 123-139.
Guadagno F.M. et alii (2006) *Carta delle frane della provincia di Benevento*, Pubblicazione n° 2906/2006 del GNDCI (U.O. 2.24 Resp. F.M. Guadagno). Benevento, pp. 77.
Squarzoni C. et alii (2003), "GPS monitoring of the la Valette landslide (French Alps) with mono-frequency receivers", *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 5, EGS.

Abstract

The understanding of the mechanism that regulates the activity of a landslide needs the fundamental information as the topography, the morphology and the kinematics of the zone in examination.
The objective of this job is that to extract part of these important information beginning from the aereofotogrametric images and to deep the potentialities of this type of data to get a quantitative characterization of the fields of activity of a mass in landslide. An other objective of the job is therefore to have a three-dimensionally characterization of some profile of ground, to define preliminarily the masses in game in the landslide event and to analyze the superficial evolutions of the body of landslide.
The area of SantaVarva reverts in a typical hilly area of the southern Appennino. The range of the e studied landslides movements is among the 2,5 m/annos and the 20 m/annos.

REALIZZAZIONE DI UN GIS STRADALE CON UN VEICOLO RILEVATORE BASSO COSTO

H.I. BENDEA, A. CINA, M. DE AGOSTINO, A. LINGUA, M. PIRAS

Dipartimento dell'Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Geotecnologie - DITAG, Politecnico di Torino, Corso Duca degli Abruzzi, 24, 10129, Torino, Italia, +39011. 564.7658/7630/7700/7675; +39011.564.7699, (iosif.bendea/alberto.cina/mattia.deagostino/andrea.lingua/marco.piras)@polito.it

Riassunto
Gli enti territoriali (regioni, province, …) che hanno per competenza la gestione della rete stradale devono a termini di legge (D.L. n° 285/92, Nuovo Codice della Strada, D.M. 01.06.2001 "Modalità di istituzione ed aggiornamento del Catasto delle Strade") dotarsi di un catasto strade, realizzandone uno ex-novo o aggiornando quello esistente. L'estensione della rete stradale italiana (oltre 160.000 km di strade statali o provinciali), la complessità dei dati da definire (segnaletica orizzontale e verticale, cippi chilometrici, etc.), la tempistica rapida per l'esecuzione dell'acquisizione dei dati e la costruzione del sistema richiedono, per una soluzione efficiente in termini costi/prestazioni, l'utilizzo di strumenti specifici, tra cui quelli denominati *Mobile Mapping Vehicles* (MMV). Si riporta l'esperienza, maturata presso il DITAG del Politecnico di Torino, relativamente alla costruzione di un veicolo rilevatore basso costo.

Abstract
The territorial agencies (e.g. regions, provinces…) responsible for the management of the road network must to create a new road cadastre, in compliance with the laws (D.L. n° 285/92, New Highway Code and D.M. 01.06.2001 "Procedures for the establishment and updating of road cadastre"),. The spread of Italian road network (more than 160000 km between highways and secundary roads), the complexity of data (e.g. road markings, traffic signs, milestones…), the short times for the data acquisition and the systems design entail the use of specific tools, such as for example the Mobile Mapping Vehicles (MMV), in order to have an efficient solution in terms of costs/performances. The paper describes the works of DITAG developing of a low-cost MMV and some dedicated software tools to calibrate, manage and use the system.

Introduzione
Il D.M. 1/6/01 rappresenta il "tormentone" per gli enti proprietari di strade che devono dotarsi di un catasto delle strade. Le soluzioni per questo rilevamento possono essere diverse e attuate tramite velivoli oppure con mezzi di rilevamento a terra. In tutti i casi il problema principale rimane l'integrazione di sensori che permettono di rilevare posizione ed assetto del veicolo (ricevitori GNSS e apparati inerziali IMU) unitamente a sensori per il rilevamento di dettaglio dei particolari sul corpo stradale (fotocamere, telecamere, laser scanner, profilometri).
Oggi esistono già numerosi sistemi trasportati da aereo, da elicottero o da furgoni attrezzati chiamati MMV (*Mobile Mapping Vehicles*). La realizzazione di un ulteriore sistema presso il DITAG dei Politecnico di Torino è stata motivata, oltre che alla necessità di far fronte ad alcune applicazioni specifiche, anche dall'interesse nell'affrontare un'esperienza interdisciplinare per l'integrazione e gestione di tutta la sensoristica. Riteniamo che l'interesse di quanto realizzato e brevemente nel seguito esposto, possa essere legato soprattutto al basso costo del sistema basato su sensori standard reperibili sul mercato a prezzi ormai contenuti. Vediamo come è fatto e quali sono le prestazioni.

Il sistema di rilevamento integrato

Il Mobile Mapping System (MMS) è un sistema montato rigidamente su di una struttura metallica con orientamento interno noto (ovvero, con posizioni e assetti relativi tra GPS, IMU e telecamere noti) e installabile su qualunque veicolo. Operazioni di calibrazione permettono di relazionare fra loro il sistema di riferimento (SR) "interno" a quello "terreno". Il sistema è così composto:

- 3 ricevitori GNSS per la posizione e l'assetto del veicolo;
- Apparato inerziale IMU per la posizione e l'assetto veicolo anche in assenza del segnale GNSS;
- Sistema di ripresa con 3 webcam Logitech Quickcam Pro 9000, dal costo di circa 100 € cad. A dispetto del bassissimo costo rispetto a telecamere professionali, esse forniscono immagini fino alla risoluzione di 1024x768 con rate fino a 30 fps e un buon sistema esposimetrico che si adatta rapidamente ai cambi di luminosità. L'ottica, di buona qualità, una volta calibrata, produce immagini sulle quali si possono eseguire misure fotogrammetriche con precisione del cm/dm. Esse vengono gestite da un software d'acquisizione appositamente realizzato che permette su un unico PC di acquisire immagini da 3 videocamere con rate sufficiente e di legare ad ogni fotogramma l'istante di presa con risoluzione 1/1000 s.



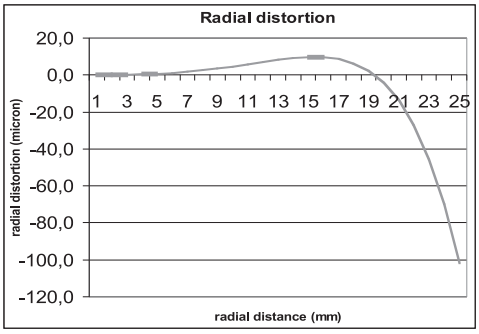
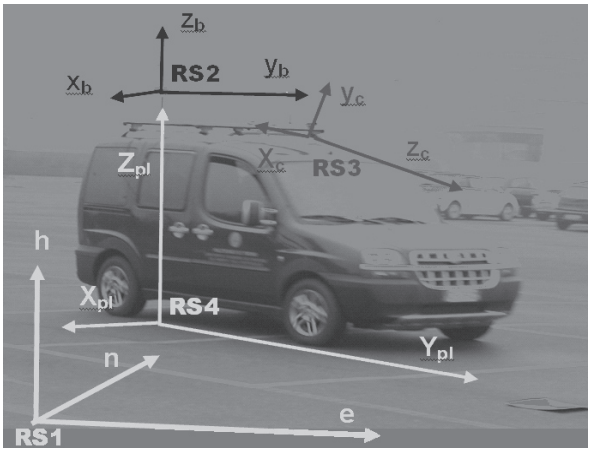


Figura 1 – Webcam e curva di distorsione

I sistemi di riferimento spazio temporali

Ogni sensore fornisce misure nel suo sistema di riferimento: integrarli fra di loro significa dunque anche integrare i loro sistemi di riferimento per portarli ad un comune. Possiamo allora considerare i seguenti sistemi di riferimento:



RS1: "cartografico" UTM-WGS84;
RS2: "body" definito dalla posizione dell'antenna GPS di poppa e centro IMU;
RS3: "camera" o "modello" nel caso di prese stereoscopiche;
RS4: "di plottaggio" solidale al veicolo con asse Z verticale;

e le loro trasformazioni:

RS1⇔RS2: rototraslazione 3D con o senza variazione di scala
RS2⇔RS4: rototraslazione 3D
RS3⇔RS4: trasformazione omografica (IP approssimazione piana) o equazioni di colinearità

Figura 2 - Veicolo rilevatore e sistemi di riferimento

Oltre al sistema tridimensionale cui riferire le misure, è necessario considerare anche che i diversi sensori forniscono tali misure in diversi sistemi di riferimento temporali, ed in particolare:

- Ricevitori GNSS: scala di tempo GPS;
- Telecamere: scala temporale legata all'orologio del PC;
- IMU: il riferimento temporale è dell'orologio interno a partire dall'istante iniziale del PC.

Il sincronismo è attualmente realizzato a prescindere da dispositivi *trigger* esterni e sfruttando la scala GPS come fondamentale. Il sincronismo tra PC e ricevitore GNSS avviene all'inizio e al termine delle misure sfruttando il segnale di tempo contenuto nel protocollo NMEA. L'*offset* rilevato tra le 2 scale temporali viene interpolato nel tempo per correggere i tempi dei singoli *frames* della telecamera. Al fine di irrobustire la stima di tale offset, in fase di rilievo vengono ripercorsi alcuni brevi tratti in tempi diversi, in modo da poter imporre l'eguaglianza delle coordinate di alcuni punti, e stimare così l'*offset* e la deriva temporale.

La restituzione

Avviene attualmente in maniera monoscopica, approssimando la corsia stradale ad un piano. I risultati presentati sono relativi a questa ipotesi, anche se è in fase di realizzazione una soluzione stereoscopica che permette di collimare lo stesso punto visto sia da due telecamere (soluzione *across track*) che in più fotogrammi successivi della stessa telecamera (soluzione *Along track*). La restituzione avviene col software LCMMS (*Low Cost Mobile Mapping System*) rappresentato in fig. 3, a partire dai parametri di orientamento delle webcam e dalla sincronizzazione delle scale di tempo. Il software LCMM può restituire anche un prodotto costituito dalle immagini raddrizzate georeferenziate: uno stralcio di 2 immagini si trova in figura 5.

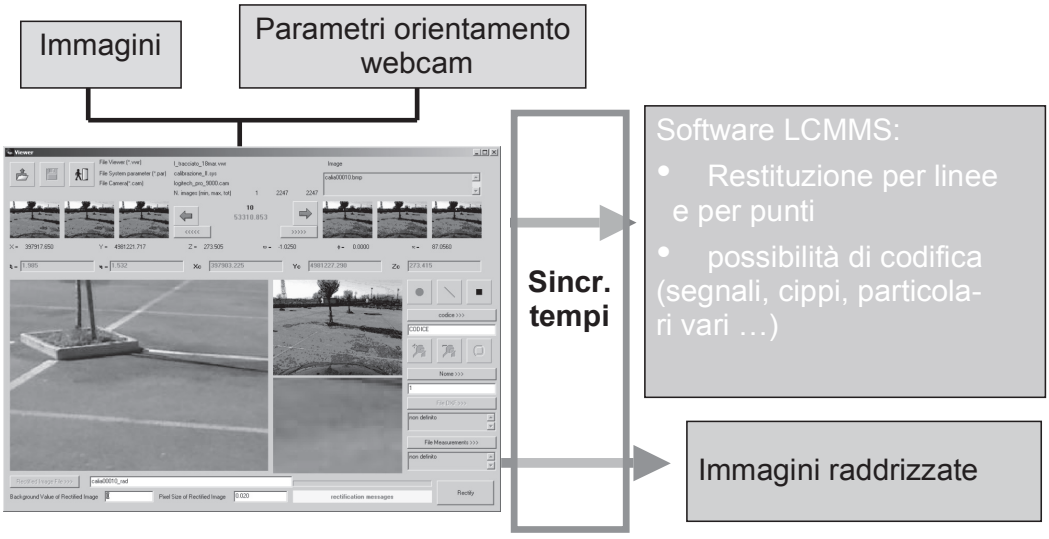


Figura 3 –La restituzione

La restituzione per linee e per punti prevede la possibilità di codifica per un successivo inserimento delle entità restituite all'interno di un GIS.

I risultati

Il rilevamento degli assi stradali con tecniche GNSS, una volta raggiunto il fissaggio dell'ambiguità di fase, raggiunge comodamente le precisioni (1 m) normate dal D.M. 1/6/01. In figura 4 sono riportate le differenze tra il rilievo di un tracciato stradale di 5 km percorso due volte per verifica. Gli scarti sono di tipo centimetrico e il maggior motivo a cui imputare le differenze maggiori è legato alla condotta di guida centrata (fig. 4).

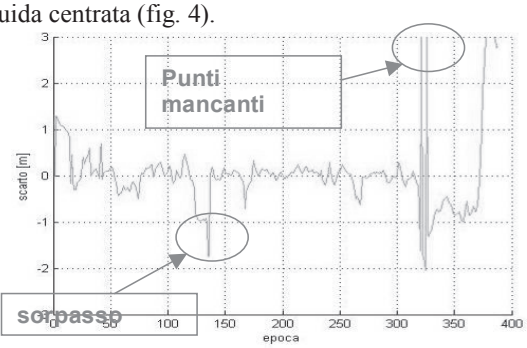
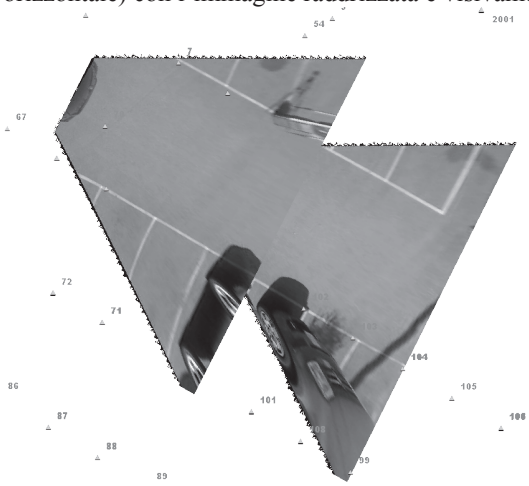


Figura 4 – Scarti planimetrici su un tracciato stradale di 5 km ripetuto

Per quanto riguarda la restituzione dei particolari di dettaglio, da test su di un poligono rilevato con modalità RTK, si notano scarti plano-altimetrici che possono essere contenuti entro i 10 cm con distanza di presa di circa 10 m (figura 5). La precisione diminuisce all'aumentare della distanza di presa. In fig. 5 si nota ancora la sovrapposizione dei punti rilevati con RTK (intersezioni segnaletica orizzontale) con l'immagine raddrizzata e visivamente sono valutabili gli scarti in pochi cm.



SCARTI RTK - MMS

	Ve	*Vn*	*Vh*
Mean [m]	-0,10	-0,13	-0,15
StDev [m]	0,10	0,05	0,03
Min [m]	-0,30	-0,21	-0,21
Max [m]	0,06	-0,06	-0,11

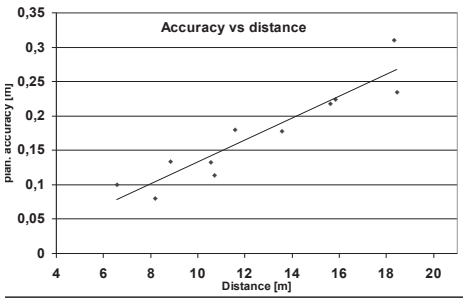


Figura 5 – Test sui risultati delle restituzione

Bibliografia

Cina A.; Lingua A.; Piras M. (2008). Low cost mobile mapping systems: an Italian experience. 2008 IEEE/ION Position Location and Navigation Symposium. Monterey, California. May 5-8, 2008. (pp. 1033-1045). ISBN/ISSN: 1-4244-1537-3.

Schwarz K. P., El-Sheimy N, Mobile mapping systems – state of the art and future trends, Int. Archives of photogrammetry and remote sensing, Istanbul 2004.

ANALISI DELLA QUALITÀ DEL POSIZIONAMENTO INS CON STRUMENTAZIONE DI BASSO COSTO IN MANCANZA DI MISURE GNSS

Horea I. BENDEA, Alberto CINA, Mattia DE AGOSTINO,
Ambrogio M. MANZINO, Chiara PORPORATO

Politecnico di Torino, Dipartimento di Ingegneria del Territorio, dell'Ambiente e delle Geotecnologie
Corso Duca degli Abruzzi, 24 - 10129 Torino (Italy), tel. +39 (011) 564.7630/7675/7687; fax. +39 (011) 564.7699
(iosif.bendea/alberto.cina/mattia.deagostino/ambrogio.manzino/chiara.porporato)@polito.it

Riassunto
I primi studi relativi all'allestimento di un veicolo rilevatore sono stati realizzati negli anni '80 in Canada; da allora, tali veicoli sono stati impiegati in diversi campi e con diverse tipologie di integrazione GNSS/INS. Una caratteristica che accomuna questi dispositivi è l'elevato costo dei sensori adottati, della realizzazione e manutenzione dell'intero sistema. Per questo motivo il nostro gruppo di ricerca ha progettato e costruito un sistema GNSS/INS, adattabile ad ogni veicolo, composto da dispositivi di basso costo. In questo articolo, dopo una descrizione del sistema , si analizzano i risultati ottenuti nelle prove effettuate per valutarne l'affidabilità.

Abstract
The first studies for the mobile mapping and creation of a vehicle for this kind of research were carried out in the 1980's in Canada. Since then these vehicles have been widely employed in several applications. Generally the GNSS/INS vehicles present high costs of the sensors, of the realization and of the maintenance. To overcome this problem a GNSS/INS system, that is suitable for any vehicle, made up of low cost devices (two GPS receivers, an INS and a camera rigidly placed on a metallic bar), has been designed and built by our Research Group.
Two tests run at different velocities have been carried out to evaluate the reliability of the system.

Introduzione

Le prestazioni attuali dei più comuni veicoli rilevatori, i *Mobile Mapping Vehicles* (MMV), sono tali che riescono a raggiungere, a velocità di navigazione di 50-80 km/h, un'accuratezza sub-metrica (El-Sheimy, 1996).
La georeferenziazione dei dati è realizzata mediante la definizione della posizione del veicolo, definita solitamente con l'impiego di uno strumento inerziale (IMU), di uno o più ricevitori GNSS e di una o più camere.
I campi di applicazione principali dei MMV sono essenzialmente legati alla raccolta dati per la realizzazione o per l'aggiornamento di DB del catasto stradale o per GIS urbani, e ad applicazioni riguardanti la sicurezza stradale e la manutenzione delle strade.

Integrazione fra i sensori impiegati nei MMV

L'integrazione fra i dati GNSS e i dati inerziali consente di ottenere una migliore soluzione degli stati della navigazione, ovvero della posizione, della velocità e dell'assetto del veicolo, e conseguentemente di migliorare la qualità dei rilievi effettuati, grazie alla maggiore affidabilità che un sistema integrato generalmente offre rispetto a quella fornita dai i due sistemi distinti.

L'impiego all'interno degli algoritmi di stima di modelli di errore degli strumenti e l'implementazione di algoritmi robusti di integrazione di più sensori, come ad esempio la soluzione *Tightly Coupled*, permettono di sfruttare maggiormente tutte le informazioni disponibili, soprattutto all'interno di scenari in cui i soli dati GNSS siano frammentari, a causa della presenza di ostacoli che disturbano la ricezione del segnale. Purtroppo, l'uso di tali sensori e procedure non sempre è sufficiente a garantire l'affidabilità del sistema. A volte, infatti, *outliers* e errori di modello non compensati, anche solamente di un sensore, possono condurre a stime errate di posizione o di traiettoria, anche di diversi metri.
Nel caso più comune di integrazione tra i sistemi GNSS e INS, è consuetudine definire all'interno di un *filtro dinamico* (ad esempio, un filtro di Kalman) dei pesi opportuni per i dati provenienti dai due sensori, così da limitare all'interno della soluzione finale il contributo degli errori che affliggono i dati. In particolare, dal momento che spesso la componente maggiore di errore è contenuta all'interno dei dati provenienti dal sensore inerziale, il sistema di norma impiega le osservazioni GNSS, ove presenti, per limitare gli effetti di questi ultimi.
Se le lacune nei dati GNSS sono considerevoli, ad esempio a causa di frequenti *cycle-slip* dovuti alla presenza di ostacoli di notevoli dimensioni, le derive dell'IMU non vengono più compensate dal posizionamento satellitare, e conseguentemente diminuisce l'accuratezza dei dati di posizione.

Architettura del sistema a basso costo per il *mobile mapping*
Con la finalità di ridurre in maniera sensibile i costi, notoriamente elevati, di realizzazione e manutenzione dei MMV, il gruppo di ricerca del DITAG del Politecnico di Torino ha progettato e sviluppato un sistema universale per il *Mobile Mapping* (Figura 1). Questo sistema, composto da una barra metallica in grado di essere montata su qualsiasi autoveicolo, è attualmente composto da tre ricevitori GNSS doppia frequenza di tipo geodetico, per la stima della posizione e dell'assetto del veicolo in assenza di ostacoli, tre webcam ad alta risoluzione (Logitech Quickcam Pro 9000, con risoluzione fino a 2 MPixel) per il rilevamento generale dei particolari stradali (segnaletica orizzontale e verticale, ad esempio) e alloggiamenti per ospitare sino a due sensori inerziali (un IMU 700-CA e un IMU 400-CC della Crossbow) per la stima degli stati della navigazione, in particolare in assenza del segnale GNSS. Al fine di produrre una soluzione più accurata, tutte le distanze fra i sensori (level-arm) sono fissate e sono state misurate con precisione sub-centimetrica.



(a)

(b)

Figura 1: Il sistema a basso costo GNSS/INS progettato al Politecnico di Torino (DITAG) nella sua configurazione attuale (a) e nella configurazione adottata durante il test a Morozzo (CN): si noti l'adattabilità del sistema realizzato a veicoli differenti

Test del Sistema GNSS/INS
Per valutare l'affidabilità del posizionamento GNSS/IMU incluso nel sistema realizzato è stato effettuato un test specifico nei pressi del comune di Morozzo (CN). Nelle due prove eseguite si è percorso lo stesso tragitto, ma con differente velocità di navigazione: nella prima prova la velocità

adottata era di 50 km/h, mentre nella seconda si è viaggiato ad una velocità media di 70 km/h. Per valutare l'affidabilità del sistema inerziale durante entrambe le prove si sono impiegati entrambi i sensori della Crossbow sopra citati. Come detto, le prove eseguite avevano la finalità di testare i limiti reali dell'integrazione dei sensori GNSS ed IMU a basso costo di *cycle-slip* (nel seguito indicati come c.s.) di differenti entità nei dati GNSS. Per questo motivo, all'interno dei dati GNSS sono stati introdotti dei c.s. artificiali, di durata differente. I dati GNSS memorizzati a 2 Hz sono stati analizzati per individuare un numero sufficiente di epoche di misura che non presentassero c.s. (circa 200-300 secondi): in tale intervallo sono stati generati i c.s. di lunghezza sempre maggiore, da 0 ad 80 secondi con *step* di 10 secondi (per un totale di 9 scenari). L'elaborazione dei dati GNSS e la successiva integrazione delle misure IMU sono stati effettuati per ciascuno dei set di dati generati. Le traiettorie risultanti per ciascuno scenario sono state confrontate con quelle di riferimento ottenute dal post-processamento dei soli dati GNSS integri.
Tutti i trattamenti GNSS sono da intendersi eseguiti in modalità differenziale, utilizzando le vicine stazioni permanenti di Cuneo, Mondovì e Savigliano della Rete Test di Stazioni Permanenti gestita dal Politecnico di Torino. Tutti i trattamenti GNSS e IMU sono stati fatti utilizzando il software Inertial Explorer v. 8.10 della Waypoint.

Analisi della prova condotta a 50 km/h
La prima prova è stata effettuata mantenendo una velocità di crociera di 50km/h percorrendo un itinerario di circa 10 km (5 km in andata e 5 km in ritorno). All'inizio ed alla fine del tragitto il veicolo è rimasto fermo per circa 4-5 minuti, al fine di ridurre gli errori di deriva degli accelerometri e dei giroscopi dell'IMU. Le coordinate GNSS sono state integrate con quelle di ciascun inerziale utilizzando l'algoritmo Loosley-Coupled (che effettua l'integrazione fra le coordinate determinate con i soli dati GPS e i dati IMU), e processando i dati all'interno di un filtro di Kalman sia nella direzione del moto sia nella direzione contraria, e combinando poi le due soluzioni ottenute per migliorare la qualità dei risultati.
Per ciascuno scenario si è esaminato l'errore rispetto alla traiettoria di riferimento. La figura 2, ad esempio, mostra gli errori prodotti dalla deriva del sensore IMU 700-CA nel caso di un c.s. di 80 secondi, espressi nel sistema del corpo in movimento (la Est coincide con l'asse X, la Nord con l'asse Y e l'h con l'asse Z) per una soluzione ottenuta con il filtro di Kalman diretto: l'errore di deriva in questo caso è approssimativamente uguale lungo gli assi X e Y, ed è inferiore nella direzione Z.

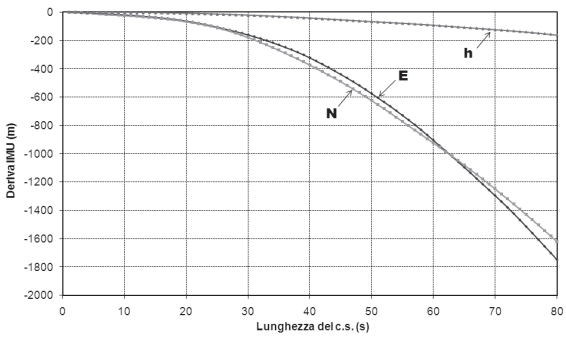


Figura 2: Errore nel caso di un c.s. di 80 secondi per ciascun asse IMU

In assenza del dato GNSS, gli errori all'interno dei dati IMU possono venire parzialmente rimossi con altre tecniche; ad esempio, è possibile filtrare gli effetti delle vibrazioni del motore impiegando le metodologie offerte dall'analisi dei segnali come ad esempio quella suggerita da De Agostino (2008). È inoltre possibile ridurre gli errori di calcolo con una procedura di trattamento dati più complessa, come ad esempio il lisciamento RTS del filtro di Kalman introdotto nelle nuove versioni

del software Inertial Explorer, e contenere l'errore di deriva del sensore introducendo un modello di errore specifico per il sensore impiegato. Tutte queste procedure migliorano la qualità della soluzione finale: la Figura 3(a) mostra la riduzione dell'errore tridimensionale per il sensore IMU 700-CA relativa all'applicazione "in cascata" delle procedure sopra citate, per un c.s. di 80 secondi. Nella Figura 3(b) viene invece rappresentata la traiettoria planimetrica relativa agli stessi casi.

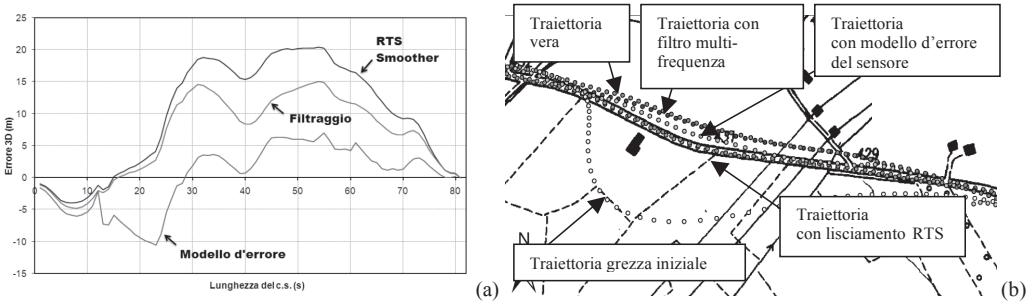


Figura 3: Andamento dell'errore tridimensionale dopo le diverse correzioni (a) e confronto tra le diverse soluzioni planimetriche (b)

Dall'analisi della Figura 3 si può notare come la componente d'errore prodotta dal rumore può essere ridotta radicalmente impiegando un filtro multi-risoluzione, e come la modellizzazione della deriva del sensore consenta di contenere notevolmente gli errori in tutta la durata del c.s.. L'errore massimo passa da circa 50 metri nel caso di dati grezzi a 20 metri per dati lisciati con RTS, fino a 15 metri dopo un filtraggio multi-frequenza e, infine, a 5 metri (con un errore medio di 2 metri) dopo l'applicazione del software di modellazione della deriva del sensore. Lo stesso miglioramento si riscontra anche dall'analisi delle traiettorie, dove la soluzione modellizzata si avvicina molto alla traiettoria di riferimento (il confronto è effettuato rispetto alla soluzione grezza iniziale).

Come precedentemente accennato, la stessa prova è anche stata effettuata con il sensore IMU 400-CC della Crossbow, che ha due triadi di sensori elettromeccanici (MEMS), di costo e accuratezza inferiori. Anche per questo sensore, le misure GNSS e IMU sono state processate seguendo la stessa metodologia del caso presedente. È stato poi condotto un confronto fra gli errori 2D e gli errori 3D per i due sensori IMU impiegati, riportato in Figura 4. In particolare, la linea inferiore indica l'andamento dell'errore planimetrico e tridimensionale dell'IMU 700-CA al variare della lunghezza dei c.s., mentre quella superiore rappresenta gli stessi errori ottenuti processando i dati dell'IMU 400-CC.

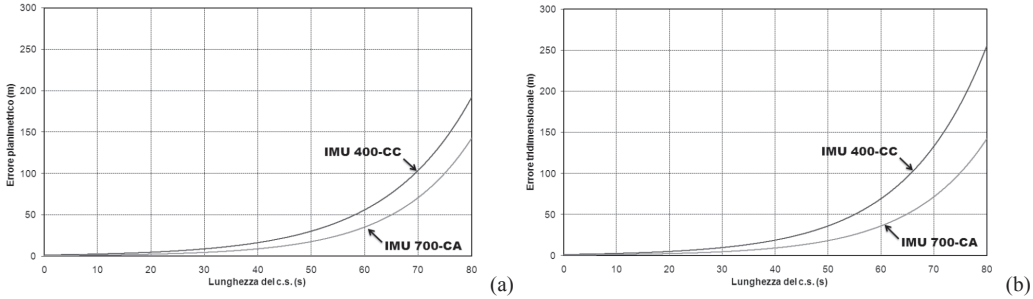


Figura 4: Errore planimetrico (a) e tridimensionale (b) in funzione dei c.s. per i due sensori utilizzati

Come era prevedibile, l'IMU 400-CC presenta una deriva maggiore rispetto all'IMU 700-CA, principalmente dovuta i sensori MEMS che utilizza. Tuttavia, per c.s. dell'ordine di 30-40 secondi, comuni nelle applicazioni di rilievo stradale in assenza di gallerie o di grossi viali alberati, gli errori

dei due sensori sono fra loro paragonabili, e giustifica pertanto l'impiego del sensore più economico per alcune applicazioni di bassa precisione. D'altro canto, per c.s. più lunghi, l'errore prodotto dal sensore MEMS aumenta rapidamente (in particolare la componente altimetrica), per cui è preferibile impiegare un sensore IMU più accurato.

Analisi della prova condotta a 70 km/h

La seconda prova è stata effettuata a 70 km/ora, seguendo le stesse metodologie operative e di analisi già descritte per il primo test. La Figura 5 riproduce la differenza media, in E, N e h (asse y nella figura), in funzione della lunghezza del c.s. (asse x nella figura) nel caso di utilizzo dell'IMU 700-CA e dell'IMU 400-CC.

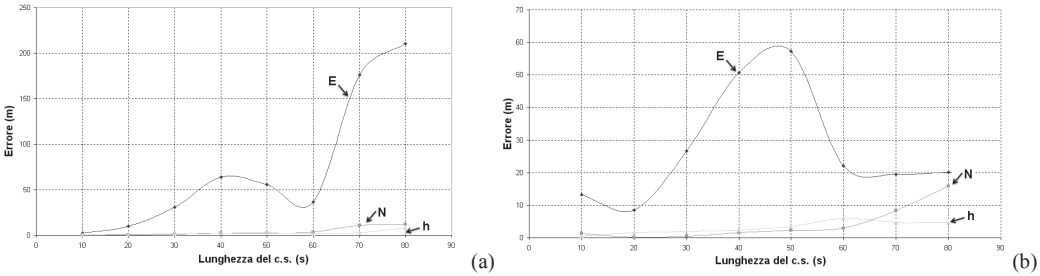


Figura 5: Andamento dell'errore nelle tre coordinate cartografiche (E, N, h) in funzione della lunghezza del c.s. per il sensore IMU 700-CA (a) e IMU 400-CC (b)

Come già rilevato nel caso della prova a 50 km/h, in entrambi i casi l'errore massimo si verifica lungo la componente Est, ma in questo caso raggiunge errori elevati molto più velocemente, probabilmente a causa della velocità più elevata.

Per quanto concerne invece il sensore IMU 400-CC, l'andamento dell'errore riportato in figura 5(b) mostra che per un c.s. di ampiezza superiore a 30 secondi l'andamento della soluzione diventa poco modellabile, e con valori privi di significatività; il risultato conferma l'inadeguatezza dell'IMU 400-CC unito all'algoritmo di calcolo utilizzato per applicazioni di *mobile mapping* condotte a velocità di crociera che superino i 50 km/ora.

Concentrando l'attenzione sul sensore IMU 700-CA, con lo scopo di limitare gli effetti degli errori è stata eseguita la medesima procedura di filtraggio dei dati dello scenario precedente, adottato anche in questo caso un modello specifico di errore per il sensore, ma non ottenendo gli stessi benefici. In questo caso, infatti, i livelli di soglia su cui è impostato il filtraggio dei dati è risultato troppo invasivo, dato che si evidenzia una perdita di informazione alle frequenze più elevate, come evidente dall'analisi della Figura 6 relativa ad un c.s. di 80 secondi. L'errore tridimensionale in questo caso aumenta dopo circa 40 secondi dall'inizio del c.s., in corrispondenza di una variazione di velocità rilevabile mediante il confronto con la soluzione di riferimento. Tale incremento dell'errore è, come detto, derivato, con tutta probabilità, dall'eccessivo filtraggio a cui sono stati sottoposti i dati IMU, e che ha eliminato in parte la componente ad alta frequenza della dinamica del veicolo.

Nella stessa Figura è anche visibile il beneficio apportato dal lisciamento dei dati tramite l'algoritmo RTS presente all'interno del software: l'errore tridimensionale massimo presente nei dati grezzi diminuisce più di 400 m nella soluzione lisciata. Tuttavia, l'applicazione del modello di errore definito per il sensore non offre alcun vantaggio evidente.

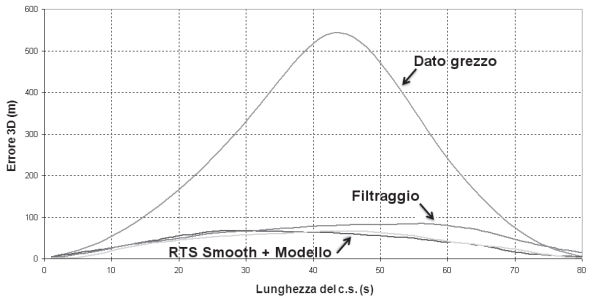


Figura 6: Andamento dell'errore tridimensionale dopo le diverse correzioni(IMU 700-CA)

Conclusioni

Le prove effettuate introducendo *cycle-slip* artificiali all'interno dei dati GNSS permettono di comprendere quale sia il reale contributo dell'IMU per ricostruire la traiettoria percorsa, e di quanto tali strumenti siano sensibili alla velocità del veicolo.

Dall'analisi delle due prove condotte a velocità differenti ed utilizzando due sensori inerziali di prestazioni e costo differenti sono emersi alcuni risultati interessanti. È infatti emersa l'importanza di impiegare, con la dovuta cura, particolari accorgimenti durante il processamento dei dati: l'uso di un modello di errore specifico definito per il sensore, al posto di un modello generico di deriva, migliora considerevolmente le soluzioni e riduce gli errori di posizione di alcuni metri. Il filtraggio dei dati IMU ha permesso di ridurre gli errori dovuti alla rumorosità del veicolo, strettamente connessi alla velocità di guida. In particolare, il filtro deve essere applicato prestando molta attenzione alla frequenza del segnale, e cercando di individuare, mediante l'analisi degli spettri di potenza del segnale, la corretta frequenza di *cut-off* del rumore. Nella prova a 70 km/h, l'impiego del filtro multi-frequenza elimina in parte l'informazione di moto contenuta all'interno dei dati, producendo un deterioramento della soluzione. Anche l'impiego di un algoritmo più complesso, quale ad esempio il lisciamento RTS del filtro di Kalman introdotto all'interno del software Waypoint Inertial Explorer, ha portato alla riduzione dell'errore nel corso dei *cycle-slip* di intervalli di tempo più elevati.

Per quanto concerne la qualità del sensore impiegato, dalle prove fatte è stato possibile evidenziare come sensori basati sulla tecnologia MEMS possano trovare impiego anche nelle comuni applicazioni di *Mobile Mapping*, a patto di non raggiungere elevate velocità di guida e nel caso in cui si prevedano c.s. dei dati GNSS inferiori a 40 secondi. In caso contrario, per c.s. più lunghi, l'errore prodotto dal sensore MEMS aumenta rapidamente (in particolare la componente altimetrica), per cui è preferibile impiegare un sensore IMU più accurato.

Ringraziamenti

Gli Autori desiderano esprimere un sentito ringraziamento al prof. Andrea Lingua e all'ing. Marco Piras per il loro fondamentale contributo all'ideazione e alla realizzazione del sistema a basso costo per il *mobile mapping* impiegato nel corso dei test.

Bibliografia

M. De Agostino (2008), "A multi-frequency filtering procedure for inertial navigation". *PLANS Conference Proceedings*, Monterey (CA), USA, 5-8 Maggio 2008.

N. El-Sheimy (1996), *The Development of VISAT - A Mobile Survey System For GIS Applications*, Tesi di Dottorato, Dept. of Geomatics Engineering, Calgary, Canada.

Waypoint Consulting (2005), *Improvements in Position, Velocity and Attitude when using Waypoint Consulting's RTS Smoother during Periods of GPS Data Outages*.

IRDAT: UN PROGETTO REGIONALE DI INFRASTRUTTURA DI DATI AMBIENTALI E TERRITORIALI PER IL FRIULI VENEZIA GIULIA

Alessandra BENVENUTI (*), Alessandra CHIARANDINI (**),
Marco LUNARDIS (***), Fabrizio SGRAZZUTTI (****)

(*) Insiel, via Umago 15 Udine, tel. +39 0432 557235, alessandra.benvenuti@insiel.it
(**) Insiel, via Umago 15 Udine, tel. +39 0432 557258, alessandra.chiarandini@insiel.it
(***) Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia – Servizio SIT e Cartografia,
tel. +39 040 3774056, marco.lunardis@regione.fvg.it
(****) Insiel, via Umago 15 Udine, tel. +39 0432 557223, Fabrizio.sgrazzutti@insiel.it

Il presente contributo illustra i contenuti e gli obiettivi del Progetto IRDAT avente come obiettivo la realizzazione di una Infrastruttura Regionale di Dati Ambientali e Territoriali per il Friuli Venezia Giulia. Il primo passo nella implementazione di IRDAT è stato la realizzazione di un Catalogo *on-line* di Metadati geografici, consultabile nell'ambito del Portale regionale. Sotto il coordinamento strategico di un Nucleo di Coordinamento Operativo (gruppo di lavoro interdirezionale di cui fa parte anche Insiel S.p.A.) è stato redatto un Progetto Esecutivo, approvato nel mese di giugno 2008, che delinea le linee di indirizzo metodologico ed operativo per lo sviluppo della Infrastruttura.

This Paper illustrates goals and contents of "IRDAT Project", concerning the implementation of a Spatial Data Infrastructure at regional level (Friuli Venezia Giulia Region - Italy).
The first step is represented by the on-line Metadata Catalogue, accessible in the institutional Web Site of the Friuli Venezia Giulia Region.
Members of regional Departments together with experts of Insiel SpA set up a document (Progetto Esecutivo IRDAT) that defines expected actions and provides operators with guide-lines in order to implement an effective Spatial Data Infrastructure for the regional Territory.

1. Il contesto

La Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia ha intrapreso e svolto con continuità, a partire dalla metà egli anni '90, un insieme organico di attività orientate alla creazione di basi cartografiche omogenee sul territorio regionale ed alla implementazione di Sistemi Informativi Geografici integrati nell'ambito della Pubblica Amministrazione al livello locale, intermedio e regionale.
Sotto il coordinamento dal Servizio regionale per il Sistema Informativo Territoriale e la Cartografia[1] ed in collaborazione con Insiel, sono state realizzate e distribuite alle Direzioni regionali ed agli Enti Locali soluzioni GIS, in ambiente client/server e Web, che rispondono alle esigenze operative dei diversi Enti (Comuni, Province, Direzioni regionali) mentre specifici servizi di elaborazione dati, di formazione e di supporto agli utenti accompagnano la crescita di competenze negli operatori e lo sviluppo complessivo dei sistemi.

Negli ultimi anni, grazie anche al progressivo consolidarsi dei sistemi settoriali e locali ed alla generale "maturità" raggiunta nel settore dei SIT in ambito regionale, nonché in relazione alle esigenze di governo integrato del territorio espresse dalla Pubblica Amministrazione e dagli operatori professionali, è emersa con sempre maggiore urgenza la necessità di strumenti e prassi

[1] Direzione Centrale Pianificazione Territoriale, Autonomie Locali e Sicurezza.

operative che agevolino l'interscambio e la diffusione delle informazioni in ambito intra ed inter-istituzionale.
In linea con la evoluzione dello scenario delineata, importanti Progetti regionali si sono confrontati, in anni recenti, con la gestione integrata di basi cartografico-geografiche in contesti complessi ed eterogenei[2]. Tuttavia è nel Progetto Regionale per una Infrastruttura di Dati Ambientali e Territoriali (Progetto IRDAT), di cui alle presenti note, che l'insieme delle questioni tecniche ed organizzative connesse alla diffusione ed integrazione delle informazioni geografiche trova uno specifico momento di sintesi, sia sul piano concettuale sia su quello metodologico e strumentale.

2. Verso una Infrastruttura di Dati Geografici per il territorio regionale

2.1 Il Nucleo di Coordinamento Operativo

Facendo seguito ad un primo un documento di linee-guida denominato "Progetto generale per la costruzione di un'Infrastruttura Regionale di Dati Territoriali ed Ambientali per il Friuli Venezia Giulia (IRDAT – FVG)" approvato nel febbraio 2006[3], è stato istituto nel giugno del medesimo anno un gruppo di lavoro interdirezionale denominato "Nucleo di Coordinamento Operativo - NCO"[4], di cui fanno parte rappresentanti delle diverse Direzioni regionali ed Insiel. Il NCO opera da allora con continuità, sotto il coordinamento del Servizio per il SIT e la Cartografia, svolgendo un ruolo di indirizzo strategico, di approfondimento e di monitoraggio delle iniziative connesse allo sviluppo della Infrastruttura. Nell'ambito del NCO specifici tavoli di approfondimento hanno permesso di definire i fondamentali elementi costitutivi della Infrastruttura regionale; su questa base Insiel ha redatto il "Progetto Esecutivo IRDAT" i cui contenuti sono stati discussi ed approvati collegialmente dallo stesso NCO nel giugno 2008.

2.2 Il Progetto Esecutivo IRDAT: obiettivi e contenuti

Obiettivo del Progetto IRDAT è la creazione di una Infrastruttura di condivisione dei dati geografici fra i diversi soggetti, pubblici o privati, che producono o utilizzano dati geospaziali relativi al territorio regionale: Direzioni Centrali della Regione, Enti Locali operanti in forma singola od associata (ASTER, Città Mandamento etc.), Enti di livello intermedio (Province, Comunità Montane), organismi regionali che gestiscono dati di rilevanza territoriale, liberi professionisti, nonché Enti e soggetti esterni alla Regione interessati alle informazioni di rilevanza spaziale prodotte in FVG. In una prima fase l'attenzione si è concentrata sui meccanismi di interscambio e pubblicazione dei dati nell'ambito della Amministrazione regionale; il passo successivo consisterà nel coinvolgimento diretto di altri soggetti, con particolare riguardo agli Enti di livello locale.
Per agevolare la condivisione delle informazioni sono necessari, come evidenziato dalle esperienze nazionali ed internazionali nel settore e formalizzato dalla Direttiva INSPIRE[5], strumenti che agevolino la ricerca e l'accesso ai dati, ma anche protocolli condivisi che ne definiscano contenuto e struttura, nonché un *framework* giuridico/normativo che possa garantire un supporto istituzionale adeguato allo sviluppo della Infrastruttura stessa.
La complessità delle questioni sottese alla condivisione informativa in contesti distribuiti e inter-settoriali ha reso da subito evidente la necessità di un approccio "multifattoriale" ed integrato allo sviluppo di IRDAT. Partendo dal presupposto che l'interoperabilità fra i sistemi si articoli su molteplici piani -tecnico, semantico ed organizzativo-istituzionale (Salvemini, 2004)- e che, fra

[2] Fra gli altri, il "Progetto Catasto Regionale" (finanziamento comunitario Docup Obiettivo 2 2000-2006, Azione 4.2.1 e fondi regionali) nell'ambito del quale, grazie ad un Protocollo di intesa fra la Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia e l'Agenzia del Territorio, la gestione integrata dei dati Catastali nei SIT degli Enti viene affrontata con un approccio unitario sul territorio regionale. Progetto INTERREG IIIB Cadses - ISA-Map, orientato alla condivisione ed armonizzazione dei dati geospaziali fra Friuli Venezia Giulia, Slovenia e Carinzia (www.isamap.info).
[3] Approvazione con Decreto del Presidente della Regione n. 063 del 7 marzo 2006
[4] Nucleo Coordinamento Operativo interdirezionale istituito con DDG n 113 del 14.06.2006
[5] *"Establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE)"*. Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council del 14 marzo 2007, il cui testo definitivo è stato pubblicato sul Bollettino Ufficiale della Comunità Europea il 25 aprile 2007. Vedasi Sito INSPIRE (http://inspire.jrc.it/).

questi, gli aspetti tecnici giochino un ruolo strategico ma non esclusivo, il Progetto Esecutivo IRDAT affronta, pur con livelli di approfondimento diversi, tutti i temi di seguito elencati, individuando per ciascuno di essi azioni ed attività specifiche:

- **Infrastruttura Tecnologica**: architettura generale e modello di funzionamento dell'insieme di postazioni operative, dei Server di condivisione del dato e della rete di interconnessione dei poli di produzione e fruizione dei dati sul territorio regionale;
- **Strumenti** e **servizi** per la **produzione** e la **pubblicazione** dei dati: requisiti e linee di evoluzione in un'ottica di interoperabilità cooperazione applicativa;
- **Procedure** e **protocolli** per l'interscambio e la pubblicazione dei dati nel "circuito" dell'Infrastruttura;
- **Semantica** e **Qualità dei dati**: individuazione degli "indicatori" di qualità del dato ed ipotesi di approccio operativo alla loro valutazione;
- **Normalizzazione** e **armonizzazione** dei dati di interesse diffuso, con particolare riguardo alla costituzione di "**Anagrafi univoche**" di oggetti territoriali;
- **Formazione degli operatori**, in coerenza con il programma dell'ECDL GIS[6] ed istituzione di **reti collaborative** e di confronto fra tecnici, funzionari ed amministratori;
- **Modello organizzativo**: "adesione" ad IRDAT e modalità di interazione dei soggetti nell'ambito della Infrastruttura;
- **Regole** e **Norme:** linee di indirizzo per l'aggiornamento del quadro giuridico regionale in materia di GIS e Infrastrutture.

Data la complessità e vastità delle questioni in campo, il Progetto Esecutivo presenta una geometria variabile e si configura come vero e proprio "**Progetto-Quadro**", definendo dove possibile nel dettaglio azioni immediate e rinviato, in altri casi, a successivi approfondimenti. Le attività (potenziamento Infrastruttura tecnologica, sviluppi software, attivazione di Progetti Pilota, Formazione degli operatori etc.) sono articolate in *Work Package* ed è stato delineato un Cronoprogramma di massima riferito ad un orizzonte temporale di un triennio. Su questa base, a fronte delle risorse disponibili, la Regione promuoverà di volta in volta interventi mirati definendo programmi di lavoro a breve termine.

2.3 Il Catalogo dei Dati Territoriali

Parallelamente all'avvio delle attività di approfondimento del NCO, sulla base dei requisiti raccolti tramite una specifica analisi con gli operatori regionali, è stato realizzato un **Catalogo Web dei Dati Ambientali e Territoriali**, consultabile nell'ambito Portale della Regione FVG[7].

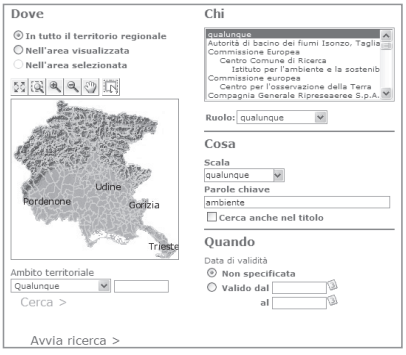


Figura 1 – Catalogo IRDAT, il motore di ricerca

[6] *European Computer Driving Licence* nel settore dei GIS, attivato nel 2007. L'iniziativa, promossa dalla *ECDL Foundation*, è coordinata a livello nazionale da AICA – Associazione Italiana per l'Informatica e il Calcolo Automatico.
[7] http://www.regione.fvg.it/rafvg/utility/areaArgomento.act?dir=/rafvg/cms/RAFVG/GEN/CatalogoDati/

Il Catalogo, implementato in base ad un profilo di metadocumentazione basato sullo Standard ISO 19115, offre servizi per la ricerca dei dati basata su operatori (localizzazione, data di produzione, produttore, parole-chiave etc.), nonché per la consultazione e la stampa dei Metadati descrittivi; esso utilizza il Thesaurus GEMET (*Global Environmental Multilingual Thesaurus*), un dizionario di oltre 5000 termini realizzato per favorire le ricerche di temi di carattere ambientale.

Un WebGIS "leggero", orientato alla consultazione speditiva dei dati, permette la rappresentazione della componente spaziale ed alfanumerica dei Dataset pubblicati e, ove previsto, il loro *download* nei più diffusi formati di mercato.

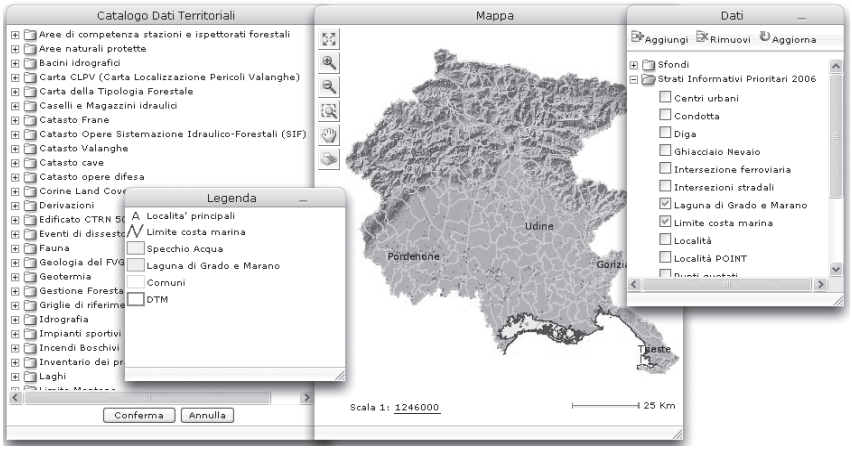


Figura 2 – Catalogo IRDAT, WebGIS

Il servizio di catalogazione, che gestisce attualmente i Metadati relativi a circa 700 *Dataset* prodotti da diverse Direzioni regionali, segue attualmente un approccio di tipo "*Corporate"* (Metadati in un unico database Oracle cui i produttori accedono, tramite opportune abilitazioni, tramite una applicazione Web), ma è prevista la sua evoluzione verso un modello di tipo "*Workgroup*", che possa offrire diversi servizi di catalogazione, localizzati presso i vari soggetti produttori, che si possono interare fra loro mediante servizi Web. Questo consentirà, inoltre, di "aprire" il Catalogo agli Enti Locali, incrementandone grandemente il potenziale bacino di utenza.

Gli accessi al Catalogo vengono monitorati con frequenza settimanale, rilevando alcuni parametri di carattere quantitativo (numero di accessi, durata delle sessioni, provenienza delle richieste etc.) integrabili, in prospettiva, con indicatori di carattere qualitativo (Dataset richiesti, *download* effettuati etc.).

2.4 Web Community IRDAT

Per supportare le attività del Nucleo di Coordinamento Operativo, con particolare riguardo al confronto sui contenuti del Progetto Esecutivo, è stata predisposta nell'ambito della intranet regionale una piattaforma Web che gestisce una "Comunità virtuale" aperta, in questa prima fase, ai rappresentanti delle diverse Direzioni regionali. La *Community Web* dispone di una bacheca per la comunicazione di *news*, di una Biblioteca (generale e di area) e consente la attivazione di differenti tavoli tematici (*Web Forum*).

E' prevista nei prossimi mesi la apertura della *Community Web* agli Enti e soggetti esterni alla Regione che, previa compilazione di alcuni dati identificativi, compiranno un primo passo verso la

"adesione attiva" al circuito informativo IRDAT, ai suoi principi costitutivi ed alle regole di pubblicazione ed utilizzo delle informazioni.

La *Community Web*, opportunamente articolata in aree tematiche (strati informativi "di base", Anagrafi univoche di oggetti territoriali, tematiche urbanistiche etc.), dovrebbe diventare il luogo di incontro delle diverse "Comunità di pratiche" esistenti in ambito regionale (verrà effettuata, a questo fine, una mappatura dei principali ambiti di interesse) le quali troveranno, in questa sede, occasione di confronto e di approfondimento tecnico/metodologico, potranno condividere documenti e modelli operativi ed essere aggiornati sulle principali novità nel settore.

3. Attività prossime future

Facendo riferimento allo scenario delineato, i prossimi passi nello sviluppo di IRDAT consisteranno nella integrazione delle funzionalità e dei servizi offerti dal Catalogo dei Dati Territoriali ed in un generale adeguamento della Infrastruttura di gestione dei dati nell'ambito della Amministrazione Regionale, con particolare riguardo a:

- ottimizzazione e potenziamento della Infrastruttura tecnologica generale (Server e connettività di rete) ed implementazione di *tools* per automatizzare la pubblicazione dei dati e Metadati geografici;
- servizi per il *download "on-demand"* dal Catalogo nei principali formati di intercambio;
- ottimizzazione delle procedure per import/export di Metadati da/verso il Catalogo utilizzando il formato XML (coerentemente con lo Schema XSD);
- integrazione più stretta fra ambienti di produzione del dato geografico e produzione del Metadato;
- attivazione di Servizi di Geoprocessing basati sui formati Open GIS WFS e WMS;
- Implementazione di un servizio di catalogazione basato sullo Standard CWS.

Sul fronte degli EELL, è previsto l'avvio di specifici Progetti-Pilota che permettano di verificare gli aspetti tecnici ed organizzativi connessi alla partecipazione dei Comuni, in forma singola o aggregata, allo sviluppo della Infrastruttura regionale.

Approfondimenti metodologici ed applicativi verranno inoltre effettuati in riferimento a specifici contesti tematici, ovvero ad ambiti applicativi ben delineati in termini di attori, contenuti, protocolli di acquisizione dei dati e frequenza del loro aggiornamento, al fine di vagliare la declinazione operativa dei principi e degli strumenti di IRDAT. Fra questi, la gestione integrata ed armonizzata degli Strumenti Urbanistici e delle basi di conoscenza per il governo del territorio, cui si darà corso nei prossimi mesi, costituiranno un valido terreno di sperimentazione.

4. Conclusioni

Considerato il "carattere processuale" che caratterizza, in generale, lo sviluppo delle Infrastrutture di Dati Geografici, ed il continuo modificarsi dello scenario dal punto di vista disciplinare, normativo e politico, è prevista una costante attività di revisione delle scelte strategiche, tecniche ed organizzative inerenti lo sviluppo di IRDAT da parte del Nucleo di Coordinamento Operativo, attualmente in fase di rinnovo, supportato da un Comitato Tecnico la cui istituzione è prevista nell'ambito del Progetto.

Agendo parallelamente sul piano tecnologico e degli strumenti, della comunicazione e della formazione degli operatori, si adotterà un approccio "incrementale" allo sviluppo del Progetto, con l'obiettivo di recepire le istanze provenienti dalla realtà regionale ed, al contempo, di raccordarsi con quanto previsto ed attuato a livello nazionale ed Europeo.

Ringraziamenti

Si ringraziano, per la Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Mario Ghidini, Direttore del Servizio per il SIT e la Cartografia (Direzione Centrale Pianificazione Territoriale, Autonomie Locali e Sicurezza); Guglielmo Galasso, Servizio S.I.R (Sistema Informativo Elettronico della Regione) e tutti i membri del N.C.O. per il fattivo apporto al Progetto; per Insiel tutti i collaboratori che hanno partecipato e partecipano allo sviluppo di IRDAT, nonché Giovanni Picech, responsabile del settore Sistemi Territoriali.

Riferimenti Bibliografici

Annoni A., Salvemini M., Vico F. (2004), "Infrastrutture di dati territoriali, web services, sistemi informativi diffusi: convergenza tra evoluzioni tecnologiche e concettuali", in *Atti della VIII Conferenza ASITA*, Roma, 14-17dicembre 2004.

Benvenuti A. (2006), "Dalla armonizzazione di basi cartografiche ad una Infrastruttura transfrontaliera di dati territoriali", in Atti della Conferenza Tematica AM/FM 2006, Roma, 21-22 settembre 2006

Craglia M., Johnston A. (2004), "Assessing impacts of Spatial data Infrastructures: Methods and Gaps", 7th Agile Conference on Geographic Information Science, 29 April – 1 May 2004, Heraklion Greece

Ghidini M., Gerini G., Picech G. (2004), "Il Sistema Informativo Territoriale della Regione Friuli Venezia Giulia e il supporto agli Enti Locali", in *MondoGIS* n. 42, maggio/giugno 2004, pp. 42-43.

INSPIRE, 2007, "*Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE)"*, consultabile all'indirizzo: http://inspire.jrc.it/

Salvemini M. (2004), "Proposte per azioni orientate alla realizzazione delle Infrastrutture di Dati Territoriali", in *Quaderni del LABSITA Anno III, n.3, dicembre 2004*

Vico F. (2001), "WebGIS e infrastruttura di dati geografici: due concetti convergenti, un nuovo paradigma?", in *MONDOGIS*, febbraio 2001, pp. 54-57.

Standard ISO TC 19115 (http://www.isotc211.org/scope.htm)

Regione FVG, Servizio SIT e Cartografia: http://www.regione.fvg.t/cartografia/cartografia.html

LA CERTIFICAZIONE GIS DELLA FONDAZIONE ECDL: PRIMI RISULTATI DI APPLICAZIONE IN ITALIA ED IN EUROPA

L. BERARDI, M. SALVEMINI, P. DI DONATO, G. MATTIOZZI

Università Sapienza di Roma – Dipartimento CAVEA - LABSITA, Piazza Borghese 9 - 00186 Roma,
Tel. 0649918830, Fax 0649918873, mauro.salvemini@uniroma1.it, laura.berardi@uniroma1.it,
pasquale.didonato@uniroma1.it, mattiozzig@aliceposta.it

Riassunto

Questa relazione intende presentare il riscontro dei primi risultati di applicazione ottenuti dall'avvio della Certificazione GIS - *endorsed by ECDL Foundation*, già presentata nella 9ª Conferenza ASITA.

La Certificazione GIS, la cui completa realizzazione è durata circa tre anni con l'attiva, costante e stretta collaborazione fra il Laboratorio di Sistemi Informativi Territoriali e Ambientali (LABSITA) dell'Università Sapienza di Roma e l'Associazione Italiana per l'Informatica ed il Calcolo Automatico (AICA), referente nazionale delle certificazioni ECDL, ha visto la sua definitiva stesura nel 2007 ed il suo effettivo avvio nell'anno in corso.

La certificazione GIS *endorsed by ECDL Foundation* è stata lanciata ufficialmente in Italia nell'edizione 2007 del FORUM PA, ed ha visto il suo avvio effettivo in Italia nel corso dello stesso anno in termini di accreditamento dei centri e del personale previsto per l'erogazione della certificazione stessa e di erogazione dei primi diplomi agli utenti finali.

La relazione presenta lo stato dell'arte che evidenzia il buon livello di riscontro nei confronti della iniziativa che si registra attualmente in Italia ed anche a livello Europeo ed Internazionale sia in termini di attività sin qui svolte che di interessi di Enti pubblici e privati nell'adozione della certificazione GIS.

Abstract

This paper intends to introduce the assessment of the first results of application by the start of the GIS Certification - endorsed by ECDL Foundation, introduced already in the 9th ASITA Conference.

The GIS Certification, whose time of complete realization is around three years duration, with the dynamic, continuous and close collaboration among the Laboratorio di Sistemi Informativi Territoriali e Ambientali (LABSITA) of the Sapienza University of Rome and the Associazione Italiana per l'Informatica ed il Calcolo Automatico (AICA), national referent of the ECDL certifications, has been definitively ultimated in 2007 and its real start is in this year.

The GIS Certification endorsed by ECDL Foundation has been officially launched in Italy during the 2007 FORUM PA, and its real start has been in Italy during the same year in terms of accreditation of centers and its personnel in order to deliver of the certification and of the first end user diplomas.

The paper demonstrates the good level of assessment that is currently in Italy and also at European and International level in terms of both the realised activities and the interest of the Public Administrations and the private corporate in order to the GIS certification adoption.

Introduzione

È ormai ampiamente e sempre più riconosciuto il trend europeo ed internazionale dei programmi di certificazione atti ad attestare la competenza professionale nel campo dell'ICT (*Information and Communications Technology*), fra cui il successo riscontrato negli ultimi anni dell'ECDL (*European Computer Driving Licence*) ne è una chiara dimostrazione.
È utile ricordare che l'ECDL è stato concepito dalla ECDL *Foundation* con il chiaro scopo di introdurre il concetto di conoscenza dell'IT nell'industria e che costituisce un sistema di certificazioni che attestano la capacità di saper usare il personal computer a diversi livelli di approfondimento e di specializzazione atto ad offrire accesso a tutti nell'*Information Society* e ad introdurre il concetto di un livello generale di conoscenza del computer nella società. Nell'ambito del programma ECDL si distinguono tre livelli: *Core*, *Advanced* e *Specialised*. I programmi di certificazione, sia a livello *Core* che a livello *Specialised*, offerti in Europa e nel mondo stanno aumentando.

La Certificazione GIS (*Geographic Information Systems*) *endorsed by ECDL Foundation* è proprio tra i nuovi programmi di certificazione e si inserisce fra quelli definiti *Specialised* per la sua particolare specificità. È importante mettere in evidenza come questo programma sia stato sviluppato completamente in Italia, essendo l'intero processo di realizzazione stato seguito dal LABSITA e da AICA, che come suddetto è il referente nazionale delle certificazioni, con l'attiva collaborazione, per la parte riferita specificatamente ai software, dei due *vendors* ESRI ed INTERGRAPH e con la preziosa consulenza e partecipazione di professionalità accademiche. È proprio a tale riguardo che viene riportato "*endorsed by ECDL Foundation*", che sta ad indicare che la Fondazione internazionale che riconosce le certificazioni ha dato l'*endorsement* a questo specifico prodotto.
La Certificazione GIS, come gli altri programmi di certificazione, nasce dall'esigenza della GIS *community* di avere un riconoscimento sulle competenze professionali, che è un aspetto cruciale sia per la Pubblica Amministrazione e per i programmi e servizi di *e-government* che per le società private. Al tempo stesso essa segue gli stessi principi degli altri programmi di certificazione costituendo uno standard di riferimento internazionale in quanto si caratterizza per:

- completezza, con una struttura articolata su vari livelli. A tale proposito si evidenzia che la struttura generale di questo programma di certificazione è stata disegnata su tre livelli: Base, *Advanced* e *Professional*, tuttavia il secondo ed il terzo livello sono stati progettati per soddisfare le esigenze di mercato delle certificazioni ma non sono stati ancora realizzati pienamente;
- uniformità, poiché i test sono e saranno identici in tutti i Paesi, garantendo così la circolarità del titolo;
- neutralità rispetto ai vendor, essendo aperto alle diverse piattaforme tecnologiche, da quelle "proprietarie" a quelle "open-source".

Ma perché nasce la Certificazione GIS? Il problema principale che ci si è posti è questo: la GI (*Geographic Information*) ed i GIS sono ormai ampiamente riconosciuti come una delle aree di sviluppo più importanti dell'ICT e della PSI (Informazione del Settore Pubblico) e dell'*e-government*. Basti ricordare che alcuni studi della Commissione Europea hanno stimato che il valore del mercato di questo settore ammonta a circa 36 miliardi di euro. I sistemi informativi territoriali vengono quindi sempre più utilizzati, ma le competenze esistenti, soprattutto nella Pubblica Amministrazione, relative all'utilizzazione di questi strumenti sono certamente scarse e quindi da incentivare. Questo è stato il motivo principale che è stato rafforzato da due ulteriori convincimenti: il primo è che anche a livello europeo ed internazionale era ed è presente in generale la medesima necessità di specifiche conoscenze nel campo GIS, nella Pubblica Amministrazione e fuori di essa. Il secondo è la necessità di avere un quadro generale di riferimento per tutti considerando il fatto che dal 15 maggio 2007 si è avviato il processo di trasposizione agli Stati

Membri della direttiva INSPIRE (*Infrastructure for Spatial Information in the European Community*), che ha lo scopo di definire la rete europea dei dati territoriali e della cartografia di base digitale.

In questo contesto quindi la Certificazione GIS punta a verificare la conoscenza dei principi fondamentali su cui si basano i GIS ed il loro uso attraverso software specifici nonché la capacità ad operare su e con la GI e le relative informazioni. In questo contesto si offre l'opportunità, a chi lo desidera, di avere un riconoscimento ufficiale a livello nazionale ed internazionale delle proprie competenze professionali e tecniche relative ai GIS. Il conseguimento della certificazione avviene attraverso il superamento degli esami relativi ai seguenti Moduli:

- Modulo 1: Rappresentazione cartografica;
- Modulo 2: GIS;
- Modulo 3: Uso di un software GIS.

È chiaro che quando si tratta di acquisizione e certificazione della conoscenza teorica di base non ci si riferisce a programmi di formazione erogati dalle università e dalle società private finalizzati alle competenze e conoscenze della GI e/o di un software proprietario, con cui non vi è alcun tipo di conflitto, ma piuttosto di un processo di certificazione degli *skills* e delle caratteristiche che una persona possiede rispetto all'utilizzazione dei GIS.
Questa certificazione rappresenta un concreto punto di riferimento per le competenze dell'utente di GIS completamente software indipendente nonostante il fatto che, al momento attuale, il Modulo 3, che verifica la conoscenza dell'utilizzo di uno specifico software, si basa sull'uso dei software GIS di ESRI e di INTERGRAPH. A questo riguardo si mette tuttavia in evidenza che è prossima la disponibilità di applicazione dello stesso Modulo in *open source* con il software QuantumGIS e che esperti ed utilizzatori di altri software, proprietari e non, hanno dimostrato il loro interesse.

Come suddetto la certificazione GIS *endorsed by ECDL Foundation* è stata lanciata ufficialmente nel mercato italiano durante l'edizione 2007 del FORUM PA. L'evento è stato organizzato in collaborazione con il Ministero per i Beni e le Attività Culturali (MiBAC) che ha ospitato AICA presso il proprio stand, con postazione dedicata alla Certificazione GIS, e che ha pianificato un intervento dedicato all'interno del convegno "Sistemi informativi per la tutela e la valorizzazione del patrimonio culturale".

La Certificazione GIS *endorsed by ECDL Foundation* in Italia

Con l'ingresso sul mercato italiano della Certificazione GIS si sono avviati a livello nazionale tutti i processi previsti per la reale erogazione dei diplomi che certificano le figure professionali che possiedono le conoscenze relative ai concetti fondamentali della informatica utilizzata nel GIS.
Infatti i candidati che desiderano dimostrare di possedere competenze e know-how di base relative ai GIS dovranno conseguire i loro esami presso centri predisposti ed autorizzati da AICA, secondo una procedura di accreditamento per l'erogazione della Certificazione GIS, che a loro volta devono seguire le modalità di erogazione degli esami previste a livello nazionale.
Le procedure di accreditamento messe a punto da AICA, referente nazionale delle certificazioni, a cui si aggiungono quelle che predispongo le corrette modalità di erogazione esami, offrono evidenza di una situazione estremamente garantista della qualità di quello che viene offerto.
Specificatamente, la procedura di accreditamento descrive una serie di parametri riferiti al personale utilizzato, ad esempio gli esaminatori, ed alle attrezzature fisiche previste per l'effettivo svolgimento degli esami, che tutte le sedi di esame, *Test Center*, dovranno pienamente rispettare. A tale riguardo è utile soffermarsi sugli esaminatori che saranno accreditati per svolgere e presiedere gli esami: la necessità di rispettare quelli che sono definiti dalla *Foundation* i principi generali (imparzialità, etica professionale, competenza tecnica, accessibilità e trasparenza) su cui si basa la corretta erogazione delle certificazioni, prevede la partecipazione dei candidati esaminatori ad un *workshop* dedicato organizzato e gestito da AICA. Nel *workshop* viene presentato in dettaglio

l'impegno che si va ad assumere a livello internazionale circa la qualità e l'uniformità del sistema di certificazioni esistenti, a cui si aggiunge un test di superamento relativo allo specifico ambito, in questo caso il GIS.

È possibile a tal punto già dare dei riferimenti di attività sin qui svolte, ad agosto 2008, e che si stanno ulteriormente incrementando in queste settimane:

- Sono stati svolti quattro *workshop* per l'accreditamento degli esaminatori: due a Roma presso l'Università Sapienza a settembre e dicembre 2007, uno a Torino presso il Politecnico a marzo 2008 ed uno presso l'Università di Pavia a giugno 2008. Gli esaminatori sin qui accreditati, di differente provenienza e distribuiti sul territorio nazionale, sono circa quarantacinque.
- Tre Test Center hanno terminato il processo di accreditamento e cinque stanno ultimando tale processo in questi giorni. I suddetti Test Center sono di natura sia accademica che privata e si distribuiscono piuttosto uniformemente sul territorio nazionale: tre sono della regione Lazio, uno della Toscana, uno del Piemonte, uno della Basilicata, uno del Friuli Venezia Giulia ed uno della Lombardia.
- Si è avviata da inizio 2008 l'erogazione degli esami previsti per il conseguimento della certificazione GIS agli utenti finali con la realizzazione delle prime sessioni di esami presso i Test Center accreditati. I primi diplomi sono stati già consegnati anche se al momento non si conoscono i termini quantitativi.
- Test Center ed altri centri di formazione hanno avviato corsi indirizzati alla preparazione della certificazione stessa. Questo dimostra come i programmi di certificazione esistenti creano un indotto di attività inerenti agli stessi.
- Si sono avviati in questi mesi processi per lo sviluppo di materiale didattico esclusivamente indirizzato alla certificazione. Come per tutti i programmi di certificazione anche quella GIS avrà prossimamente materiale didattico specifico la cui validazione ottenuta da AICA ne garantirà la qualità e la perfetta attinenza.

Ovviamente le attività avviatesi non comportano solo ed unicamente ciò che ruota intorno all'erogazione degli esami. Questa certificazione infatti ha suscitato una serie di interessi a livello pubblico e privato generando attività di disseminazione su diversi fronti.
È utile citare che lo scorso ottobre 2007 la FILAS, società dedicata al sostegno dei processi di sviluppo e di innovazione del tessuto imprenditoriale della Regione Lazio, ha promosso e realizzato un *webinar* con l'obiettivo di diffondere la consapevolezza dei vantaggi offerti da questa nuova certificazione ritenuta vantaggiosa per le Piccole e Medie Imprese (PMI) intenzionate a valutare nuove opportunità di investimento. Il seminario via web ha visto un'attiva partecipazione dovuta anche e soprattutto alla possibilità di offrire servizi relativi alla informazione geografica, il cui settore viene considerato come uno dei settori a maggiore tasso di crescita nel settore della ICT e dei servizi pubblici, avvalorati anche dalle iniziative europee e nazionali in atto, quali ad esempio la suddetta direttiva INSPIRE ed il decreto D.P.C.M. 14 giugno 2007 "Decentramento delle funzioni catastali ai Comuni" che apre nuove opportunità alle industrie del settore ICT, della cartografia e dei servizi ai cittadini.

A ciò si aggiunge l'interesse dimostrato dalla Pubblica Amministrazione centrale e locale e da Enti privati nazionali che, tramite iniziative già in essere ed il coinvolgimento ed attenzione alla certificazione stessa, hanno avviato una serie di piani da attuare.
A tal proposito va ricordato che nella scorsa edizione della Conferenza ASITA durante la sessione inaugurale di apertura il Collegio dei Geometri di Torino e Provincia ha manifestato la chiara intenzione di adottare la Certificazione GIS.
Altrettanto interessante appare il lancio ufficiale della certificazione che, come suddetto, è stato organizzato ed ampiamente supportato dal MiBAC durante il FORUM PA 2007. L'intervento

dedicato, organizzato all'interno del convegno "Sistemi informativi per la tutela e la valorizzazione del patrimonio culturale", appare ancillare ma sottolinea un ruolo al servizio dell'utilizzo dei sistemi informativi territoriali e non. Il MiBAC non è certo nuovo rispetto alla propria posizione verso i GIS, come ha dimostrato l'interessante e fondativo *workshop* organizzato dallo stesso MiBAC nel 2003 a Napoli, durante la Presidenza Italiana della Commissione, nel quale si gettarono le basi di una collaborazione a livello europeo sull'informazione geografica per i beni culturali.
Non meno interessante risulta essere l'interesse manifestato da alcune Pubbliche Amministrazioni Regionali, che intendono adottare la Certificazione GIS per i propri funzionari occupati nello specifico settore e che stanno pianificando le relative attività direttamente con AICA o tramite i Test Center già accreditati, e dalla Presidenza del Consiglio dei Ministri, che ha inoltrato una procedura di gara per l'assegnazione di incarico ad un Test Center accreditato ai fini della erogazione della certificazione previsto per circa 70 funzionari della Protezione Civile.

L'interesse in Europa e nel Mondo per la Certificazione GIS – *endorsed by ECDL Foundation*
La certificazione GIS è stata affrontata e discussa approfonditamente a livello europeo ed internazionale riscuotendo largo consenso.
La Commissione Europea ha espresso particolare interesse per questo nuovo programma di Certificazione GIS, talché si è pensato di poterlo usare in alcune attività di carattere comunitario che siano finalizzate alla diffusione della conoscenza dei sistemi informativi territoriali e della *geographic information* di per sé. Infatti si è iniziato ad utilizzarlo in due progetti europei, uno nell'ambito del VI Programma Quadro della Comunità Europea ed un altro nell'ambito del Programma Leonardo Da Vinci.

Come noto, i programmi di certificazione si basano su un *syllabus* che, suddiviso in sezioni, temi ed argomenti per ogni Modulo, è di dominio pubblico essendo questo l'elemento su cui si basa la preparazione del candidato che intende certificarsi. Nel caso della Certificazione GIS, il *syllabus* è disponibile in versione italiana, inglese e spagnola e lo stanno traducendo in tedesco e francese, mantenendo inalterato il programma.
L'internazionalità raggiunta di questo programma sta avviando a livello mondiale una serie di processi previsti per la sua distribuzione attraverso la rete di Licenziatari della ECDL *Foundation* che attualmente include 146 Paesi in tutto il mondo. Fra questi va evidenziato che non solo Stati Membri della Unione Europea hanno dimostrato largo interesse per l'introduzione a livello nazionale della Certificazione GIS, ma anche Paesi oltreoceano. Questo è un punto estremamente importante che ovviamente apre frontiere estremamente interessanti, non solamente per i giovani, ma per tutti coloro che si vogliono dedicare a questo dominio di conoscenza.

Conclusioni
Da quanto sin qui detto si comprende ampiamente come il programma della Certificazione GIS *endorsed by ECDL Foundation* si vada sempre più diffondendo.
In coerenza con i processi messi in atto si possono prevedere gli sviluppi nei prossimi anni, che vedrà:

- Incremento dei software proprietari e open source per l'applicazione del Modulo 3;
- Incremento dei Test Center italiani accreditati;
- Incremento degli esaminatori accreditati;
- Effettivo avvio del programma nei Paesi Europei ed extraeuropei;
- Incremento di figure professionali riconosciute nel GIS.

Riferimenti bibliografici

- Aica. http://www.aicanet.it
- ECDL Foundation. http://www.ecdl.com

- Allen Finchum, Halil I. Tas, and Thomas A. Wikle, 2001. "The Status of Professional Certification in GIS". http://gis.esri.com/library/userconf/proc01/professional/papers/pap411/p411.htm
- Ceccarelli P., Salvemini M., 1999. "L'utilizzo di sistemi GIS via WWW per l'istruzione universitaria e professionale. Il caso del progetto MUTATE". Atti della 3° conferenza ASITA , Napoli novembre 1999.
- INSPIRE. http://inspire.jrc.it
- FILAS. http://www.labornetfilas.it
- Kemp, K.K. 2000. "Background on International GIS Professional Certification Efforts". http://kem.uor.edu/users/kemp/certification/geoinfo.html.
- Obermeyer, N. J., 1992. "Certifying GIS Professionals. Challenges and Alternatives". URISA annual conference proceeding. Vol. 3, Pp. 176-187.
- Salvemini M., 2002. "GI for the governance of Local Authorities - Critical aspects and technical solutions". 8th EC-GI & GIS Workshop, Dublin, Ireland, 3 - 5 July 20

REALIZZAZIONE DI UN GEOSERVIZIO CONFORME AD INSPIRE PER I DB TOPOGRAFICI 2K DELLA REGIONE LOMBARDIA

Michele BERETTA (*), Maria Antonia BROVELLI (**), Marco NEGRETTI (***)

(*) Politecnico di Milano, Laboratorio di Geomatica di Como, tel e fax 031426310, email: michele.beretta@ieee.org
(**) Politecnico di Milano, Laboratorio di Geomatica di Como, tel 0313327517, email: maria.brovelli@polimi.it
(***) Politecnico di Milano, Laboratorio di Geomatica di Como, tel 0313327524, email: marco.negretti@polimi.it

Riassunto
L'obiettivo di questo lavoro è la realizzazione di geoservizi, conformi alla direttiva INSPIRE, per la distribuzione dei DB topografici a scala 1:2000 della Regione Lombardia.
I servizi realizzati sono conformi alle seguenti specifiche:
- OpenGIS Catalogue Service Implementation Specification (CS-W 2.0.1);
- OpenGIS Web Map Service (WMS 1.1.1) Implementation Specification.
Per la realizzazione di questi servizi si è scelto di utilizzare software opensource e nello specifico UMN MapServer per la parte WMS e GeoNetwork per la parte di gestione e distribuzione dell'archivio dei metadati (CS-W).
I dati che si suppone di avere a disposizione sono quelli relativi ai DB topografici della Regione Lombardia e per le modalità di pubblicazione si è fatto riferimento all'ultima normativa regionale "Specifiche Tecniche aerofotogrammetriche per la realizzazione del data base topografico alle scale 1:1000 e 1:2000" - Versione 3.0 - dicembre 2007, approvata con DGR VIII/006650 del 20/02/2008.
L'infrastruttura così creata sarà a disposizione in forma gratuita e aperta per tutti gli enti territoriali che si saranno dotati di un DB topografico conforme alle specifiche regionali.

Abstract
The aim of the work is the implementation of geoservices compliant with the INSPIRE directive for distributing Lombardy Region topographic databases at scale 1:2000.
The services are based on the following specifications:
- OpenGIS Catalogue Service Implementation Specification (CS-W 2.0.1);
- OpenGIS Web Map Service (WMS 1.1.1) Implementation Specification.
We chose to use Open Source Software and specifically UMN Mapserver for WMS service and Geonetwork for metadata handling (CS-W).
In order to publish the data we suppose to have shapefiles copliant with the last specifications approved by the Lombardy Region: "Specifiche Tecniche aerofotogrammetriche per la realizzazione del data base topografico alle scale 1:1000 e 1:2000" - Version 3.0 - december 2007, approved with DGR number VIII/006650 of 20/02/2008.
The infrastructure is freely available for all territorial authorities having a new topographic database compliant with the last regional specifications.

Premessa
Dopo alcuni anni di preparazione e studio, il 14 marzo 2007 è stata definitivamente approvata la direttiva europea che istituisce l'infrastruttura per l'informazione territoriale nella Comunità europea, denominata INSPIRE. Mediante questa direttiva l'Unione Europea si prefigge di superare quei "problemi relativi alla disponibilità, alla qualità, all'organizzazione, all'accessibilità e alla condivisione delle informazioni territoriali comuni a molte tematiche", mediante "misure in materia

di scambio, condivisione, accesso e utilizzo di dati territoriali e di servizi relativi ai dati territoriali interoperabili tra i vari livelli dell'amministrazione pubblica e tra i vari settori".
In particolare nell'articolo 11 viene stabilito che gli Stati membri e quindi le loro articolazioni territoriali, debbano mettere a disposizione gratuitamente almeno i servizi di ricerca e di consultazione delle loro banche dati territoriali. La specifica tecnica di tale prescrizione è ancora in fase di approvazione, tuttavia sono già state rilasciate le *"Draft Implementing Rules for Discovery and View Services (IR1)"* che contengono le indicazioni dettagliate che verranno richieste in fase di implementazione dei suddetti servizi. Poiché l'approccio generale contenuto nella direttiva è quello di utilizzare prioritariamente *standard* internazionali, nelle regole d'implementazione viene prescritto l'utilizzo dello standard Open Geospatial Consortium *"OGC CSW ISO 19115/19119 Application Profile (CSW ISO AP)"* per la gestione dei metadati e l'*"ISO 19128:2005(E) standard (WMS 1.3.0)"* per l'accesso alla cartografia.

Il contesto lombardo
Come in larga parte del territorio nazionale italiano, anche in Lombardia lo stato di fatto della produzione cartografica presenta una situazione di estrema frammentarietà e scadente aggiornamento (cfr. *Spatial Data Infrastructures in Italy: State of Play Autumn 2006*), poiché la produzione cartografica a larga scala è da tempo stata affidata alle Amministrazioni Comunali, che molto spesso si sono limitate alla redazione delle carte mediante aerofotogrammetria in occasione dell'approvazione dei Piani Regolatori Generali.
Per cercare di superare tale situazione, la Regione Lombardia da qualche anno mette a disposizione di aggregazioni di Comuni dei finanziamenti tramite bandi regionali per la produzione di *Database* topografici alle scale 1:1000, 1:2000, 1:5000 e 1:10000. In questo modo da un lato si incentiva la formazione di banche dati aggiornate ed indispensabili per una vera e propria anagrafe territoriale da gestirsi congiuntamente agli altri dati in possesso dei comuni, dall'altro, per generalizzazione, si arriverà alla produzione della nuova carta tecnica regionale alla scala 1:10000, comprensiva dei *layer* topografici di interesse regionale, che saranno un sottoinsieme di quelli a livello comunale.
Per rendere possibile tale integrazione, tutti i nuovi DB topografici prodotti per il territorio lombardo dovranno uniformarsi alle specifiche che Regione Lombardia ha pubblicato nel tempo e la cui ultima versione è la 3.0 del dicembre 2007 approvata con delibera di Giunta Regionale n.VIII/006650 del 20/02/2008, denominata "Specifiche Tecniche aerofotogrammetriche per la realizzazione del data base topografico alle scale 1:1000 e 1:2000", comprensiva di tutti gli allegati tecnici.
Tali documenti descrivono in dettaglio quali *shapefile* devono concorrere alla produzione cartografica, la loro struttura fisica di contenuto nonché le modalità di rappresentazione in fase di stampa.

Il servizio di ricerca
Le regole d'implementazione di INSPIRE prevedono l'utilizzo dello standard *OGC CSW ISO 19115/19119 Application Profile (CSW ISO AP)* per la pubblicazione dei metadati, con l'utilizzo dello standard *ISO/TS19139*, ovvero la codifica XML dell'*ISO19115,* come protocollo di scambio e di accesso.
In Italia il Centro Nazionale per l'Informatica nella Pubblica Amministrazione (CNIPA) ha pubblicato il documento "Repertorio Nazionale dei Dati Territoriali - Linee guida per l'applicazione dello Standard *ISO 19115 Geographic Information – Metadata"* versione 0.3, che descrive l'insieme minimo di metadati (*Core Metadata*) necessario per documentare i dati territoriali nel Repertorio Nazionale di cui all'art. 59 del Dlgs 7 marzo 2005, n. 82 – Codice dell'Amministrazione Digitale.
In seguito ad una sommaria ricerca degli strumenti operativi disponibili in grado di pubblicare i metadati seguendo quanto previsto dalla direttiva INSPIRE e dal CNIPA, ci si è resi conto che l'unica implementazione mediante *software Open Source* oggi praticabile era mediante

l'applicazione Geonetwork Opensource, sviluppato dalla FAO e da altre agenzie delle Nazioni Unite.
La versione attuale, la 2.2.0, consente l'archiviazione dei metadati secondo lo *standard ISO19115:2003* usando le specifiche di implementazione *ISO19139:2007* pubblicate nel maggio 2007. Inoltre implementa lo standard dell'OGC *Open Source* per l'*OGC Catalog Service for the Web (CS/W 2.0.1)* indicato dalla direttiva INSPIRE per i metadati.
Dopo uno studio approfondito della struttura dei file di Geonetwork e delle modalità con cui vengono gestite le localizzazioni linguistiche, si è provveduto in primo luogo a tradurre l'applicazione in lingua italiana, sia la per quanto riguarda la parte propriamente di pubblicazione dei dati sia il *software* Intermap, che fornisce un'interfaccia *WebGIS* per la visualizzazione *online* di servizi *Web Map Service*.
In un secondo tempo si sono adattati gli schemi, i *template* e gli *stylesheet* presenti in Geonetwork al fine di consentire la pubblicazione dei metadati secondo lo schema proposto dal CNIPA, profilo che recepisce gli elementi di metadati obbligatori e alcuni opzionali del *core* ISO, introducendo anche una gerarchia dei dati secondo i livelli serie, dataset e sezione. Il lavoro è stato, infine, messo in rete a disposizione di chiunque fosse interessato, nella sezione *contributions* del sito degli sviluppatori di Geonetwork.

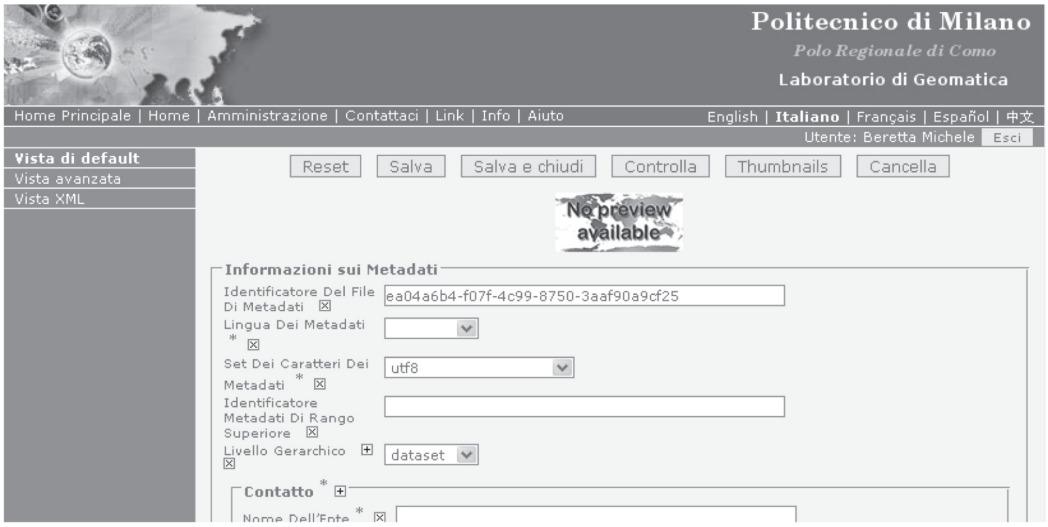


Figura 1 – Screenshot dell'applicazione Geonetwork Opensource in italiano con template CNIPA

Il servizio di consultazione
Mentre il servizio di ricerca non prevede particolari indicazioni da parte della Regione Lombardia e, quindi, la relativa implementazione è applicabile a tutti i dati italiani, quello di consultazione deve tenere principalmente in conto le specifiche regionali, sia per quanto riguarda la struttura dei file del *Database* topografico sia per le modalità di rappresentazione.
La consultazione, così come specificata dalle regole di implementazione di INSPIRE, deve essere fornita mediante un geoservizio di *Web Map Server* (WMS) che sia conforme a quanto stabilito dallo standard ISO 19128:2005(E), che riprende il documento dell'*Open Geospatial Consortium* relativo alla versione 1.3.0 del WMS.
Purtroppo quest'ultima versione delle specifiche WMS non è molto diffusa nei software a disposizione sul mercato, si è optato, quindi, per l'utilizzo del pacchetto Open Source UMN Mapserver sviluppato dall'Università del Minnesota, che all'ultima versione rilasciata (5.2) non supporta ancora il WMS 1.3.0, ma la cui implementazione è prevista per la prossima *release* (5.4), a

disposizione tra qualche mese. Attualmente è gestita la versione WMS 1.1.1, peraltro largamente compatibile con la quasi totalità dei *client*.
MapServer è in grado di leggere e di operare direttamente con il formato di *shapefile* che la Regione Lombardia prevede sia utilizzato per archiviare i dati dei DB topografici comunali alla scala 1:2000.
La configurazione del software avviene, principalmente, mediante un file di testo detto *mapfile,* che contiene tutte le indicazioni sulle modalità di rappresentazione cartografica dei dati.
La Regione Lombardia ha previsto la suddivisione del DB topografico in 119 layer principali, sia di tipo areale che lineare e puntiforme, i cui identificativi dei file iniziano con una lettera caratteristica del tipo (A per areale, L per lineare e P per puntiforme) seguita da un codice numerico indicante lo strato, il tema e la classe a cui il layer si riferisce. Ad esempio l'area stradale è archiviata in uno *shapefile* denominato A010104 dove 01 indica lo strato "VIABILITA', MOBILITA' E TRASPORTI", 01 il tema "STRADE" e 04 la classe "AREA STRADALE". Poiché ogni *layer* deve essere descritto separatamente nel *mapfile*, questo deve contenere almeno 119 sezioni, ciascuna delle quali deve avere una descrizione che consenta il rispetto di quanto previsto nelle "Specifiche di rappresentazione dei DB topografici alle varie scale", elaborate dalla Regione Lombardia. Il primo passo è stato quello di creare uno scheletro di *mapfile* che contenesse tutti i piani previsti, seppure con una rappresentazione standard e non diversificata, e i comandi di base, come il percorso dei file necessari, le proiezioni supportate, l'estensione totale, i caratteri usati e così via. Per fare ciò è stato scritto un piccolo programma in standard ANSI C che produce quanto richiesto a partire da un *file* in ingresso contenente i nomi dei *layer* e la loro codifica regionale.
Una volta ottenuto un *mapfile* di base, si è proceduto al sua affinamento tenendo conto delle specifiche regionali.
MapServer gestisce gli stili delle varie linee mediante un *file* degli stili, separato dal *mapfile*, nel quale sono specificate le caratteristiche grafiche dei simboli da utilizzare per le linee (punteggiate, tratteggiate, punto-linea, ecc.), le aree (riempimento pieno, vuoto, a linee oblique, contorno) e i punti (immagine *raster* di riferimento, etichetta testuale, ecc.).
Sempre in figura 2 è riportato uno stralcio dei questo fiel dei simboli.

```
CLASS
        EXPRESSION "020602"
        STYLE
                OUTLINECOLOR 115 76 0
                COLOR 204 170 102
        END
END
CLASS
        EXPRESSION "02060201"
        STYLE
                SYMBOL 'hatch'
                ANGLE 135
                SIZE 5
                WIDTH 1
                COLOR 137 68 101
                OUTLINECOLOR 137 68 101
         END
 END
```

```
SYMBOL
        NAME "T"
        TYPE TRUETYPE
        CHARACTER "T"
        FONT "arial"
        GAP -10
END
SYMBOL
        NAME "bandiera"
        TYPE PIXMAP
        IMAGE "02050100.png"
        TRANSPARENT 38
        GAP -30
END
SYMBOL
        NAME "01010101"
        TYPE ELLIPSE
        POINTS 1 1 END
END
```

Figura 2 – Stralcio dal mapfile e dal file dei simboli

Il documento "Specifiche di contenuto e schema fisico di consegna del Data base topografico" della Regione Lombardia contiene la descrizione particolareggiata di tutti i piani che compongono un Database topografico lombardo, compresi i valori dei campi delle tabelle associate alle entità disegno di ciascuno di essi. La classificazione degli oggetti da rappresentare cartograficamente avviene

utilizzando, per lo più, un solo campo per ogni entità; le "Specifiche tecniche di rappresentazione dei DB topografici alle varie scale" indicano per ciascun *layer* quale sia quello da considerare e quali caratteristiche tipografiche corrispondano alle varie possibili istanze. Ad esempio gli oggetti del *layer* Edificio (A020102) vengono diversificati principalmente in base all'attributo EDIFC_USO (Categoria d'uso) e, quindi, il municipio (020201) avrà colori e tipo di linee diverse rispetto ad un luogo di culto (0205). Uno stralcio di quanto descritto si trova in figura 2.
Naturalmente non è possibile applicare pedissequamente le specifiche previste per una cartografia cartacea ad una rappresentazione digitale mediante *file raster*; innanzitutto la stessa scala di disegno nel caso di immagini elaborate in tempo reale e soggette ad operazioni di ingrandimento e riduzione non può che essere considerata convenzionale. Da questo punto di vista le prescrizioni regionali lombarde indicano che occorre considerare gli oggetti come obbligatori indipendentemente dalla scala, con tre eccezioni: gli elementi di copertura (falde e gronde) si rappresentano solo alla scala 1:1000, mentre i manufatti e le curve di livello hanno degli attributi aggiuntivi che indicano a quale scala debbano essere ritenuti significativi. Mentre queste tre indicazioni sono state rispettate introducendo opportuni controlli nel *mapfile*, la casistica relativa agli spessori delle linee rimane di scarso significato stante l'errore di quantizzazione estremamente variabile introdotto dalla dimensione del singolo pixel in rapporto alla scala nominale in quel momento richiesta.
Si riportano in figura 3 due esempi di immagini grafiche restituite dal servizio WMS prodotto con i dati del DB topografico del Comune di Desio (MI):

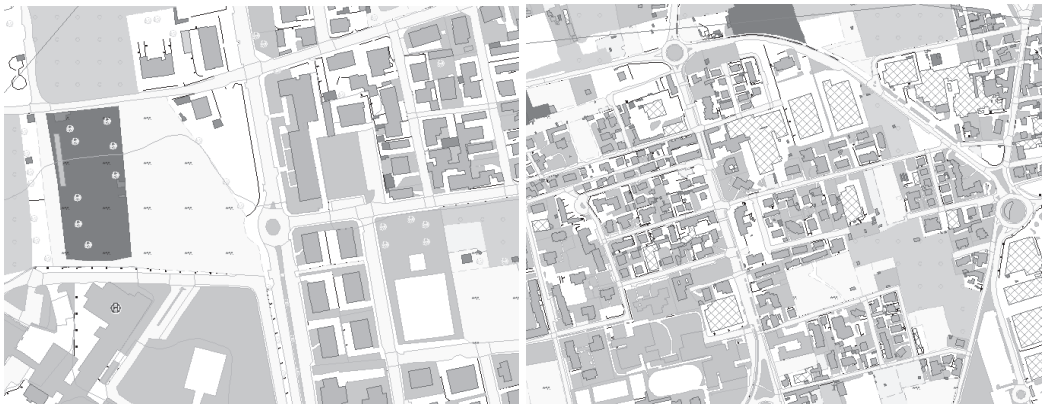


Figura 3 – Screenshot dal servizio WMS con dati del Comune di Desio (Mi)

Conclusioni
Il settore dei sistemi informativi territoriali sta vivendo un momento di grande espansione, accompagnato da una sempre maggiore regolamentazione e standardizzazione nazionale ed internazionale, condizioni indispensabili affinché anche questa nuova tecnologia possa considerarsi matura e divenire strumento operativo per una corretta ed oculata gestione del territorio.
Con questo lavoro si è creata un'infrastruttura aperta e disponibile gratuitamente per tutti gli enti territoriali della Regione Lombardia, che rende disponibile uno strumento per rispettare le prescrizioni della direttiva europea INSPIRE e gli standard nazionali che regolamentano la messa a disposizione in forma gratuita ed in rete dei servizi di ricerca e consultazione della cartografia digitale presente nelle amministrazioni.
Nel seguito occorrerà verificare le future *release* dell'applicativo MapServer per accertare l'effettivo supporto alla versione 1.3.0 del Web Map Service, nonché predisporre analoghe procedure per quanto riguarda i servizi di scaricamento, conversione e di richiamo di altri servizi, anche questi previsti nella direttiva europea, anche se non obbligatoriamente messi a disposizione in forma gratuita.

Riferimenti bibliografici

Bill Kropla (2005), "Beginning MapServer: Open Source GIS Development", *Apress.*

Brovelli M. A., Filippi F., Negretti M., Pancaldi M. (2006), "Il webGIS dell'Autorità di bacino del fiume Po: obiettivi di comunicazione, funzionalità, aree di interesse, scelte tecnologiche2" *Bollettino SIFET n. 2 - 2006, pp. 33-49.*

Brovelli M. A. , Negretti M. (2006), "MapServer e servizi web: introduzione e prime verifiche", *Bollettino SIFET n. 4 - 2006, pp. 9-23.*

CNIPA (2006), "Repertorio Nazionale dei Dati Territoriali - Linee guida per l'applicazione dello Standard ISO 19115 Geographic Information – Metadata", versione 0.3.

Danny Vandenbroucke, Peter Beusen (2006),"Spatial Data Infrastructures in Italy: State of Play Autumn 2006", *K.U.Leuven (SADL + ICRI) + Margaret Hall consultant (Hall)*

Open GIS Consortium Inc. (2006), "OpenGIS® Web Map Server Implementation Specification, version 1.3.0", http://www.opengeospatial.org.

Brovelli M.A., Leggio G., Negretti M.(2007), "L'utilizzo di UMN MapServer per l'implementazione di geoservizi conformi agli standard OGC: il caso della Provincia di Milano", *Bollettino SIFET, n. 3 - 2007, pp. 47-61.*

Network Services Drafting Team (2007), "Draft Implementing Rules for Discovery and View services (IR1)" , *Network Services Drafting Team*

Open GIS Consortium Inc. (2007), "OpenGIS® Catalogue Services Specification 2.0.2 - ISO Metadata Application Profile", http://www.opengeospatial.org.

Parlamento e Consiglio Europeo (2007), "Direttiva 2007/2/CE del 14 marzo 2007 (Inspire)", *Gazzetta ufficiale dell'Unione europea del 25.4.2007.*

Regione Lombardia (2007), "Specifiche Tecniche aerofotogrammetriche per la realizzazione del Data base topografico alle scale 1:1.000 e 1:2.000", Versione 3.0 - dicembre 2007, approvata con DGR VIII/006650 del 20/02/2008, http://www.regione.lombardia.it.

Regione Lombardia (2007), "Specifiche di contenuto e schema fisico di consegna del Data base topografico", http://www.regione.lombardia.it.

Regione Lombardia (2007), "Specifiche tecniche di rappresentazione dei Db topografici alle varie scale", http://www.regione.lombardia.it.

METODI DI CLASSIFICAZIONE AUTOMATICA DI IMMAGINI AD ALTA RISOLUZIONE: IDENTIFICAZIONE DI PSEUDOBANDE ATTRAVERSO GLI AUTOVETTORI DEL SET DI CAMPIONI

Annamaria BERNARDINI (*), Eva Savina MALINVERNI (**)

(*) DARDUS-Università Politecnica delle Marche, via Brecce Bianche, Ancona, IT; a.bernardini@univpm.it;
(**) DARDUS-Università Politecnica delle Marche, via Brecce Bianche, Ancona, IT; e.s.malinverni@univpm.it

Riassunto
Nel Remote Sensing le differenti bande del multispettrale non hanno la stessa rilevanza nell'identificazione di pixel appartenenti ad una specifica classe. L'algebra delle bande consente di costruire nuove pseudobande che semplificano la comprensione dell'immagine o il processo di classificazione (per esempio, le pseudobande che risultano dagli indici di vegetazione vengono usate con buoni risultati nella classificazione delle aree vegetate). Questo lavoro si pone come obiettivo di definire delle nuove pseudobande dalle immagini multispettrali originali che risultino maggiomente significative per l'estrazione di *features* di una particolare classe di uso del suolo. Il processo si basa sull'Analisi delle Componenti Principali (PCA) applicata al *training set* della classe "rete stradale e ferroviaria". La metodologia è stata testata su immagini del sensore digitale aviotrasportato Leica ADS40.

Abstract
In Remote Sensing the different bands of multispectral data have not the same relevance in order to identify pixels inside a specific land cover class. The band algebra combines different images in order to construct a new one that has many advantages from the point of view of image understanding or classification (e.g. pseudobands, resulting from the vegetation indices, are used with success for the classification of vegetated areas). The objective of this work is to define new pseudobands by means of the Principal Component Analysis (PCA) applied to the training sample set of specific classes. We used high resolution Leica ADS40 multispectral images to test this methodology.

Introduzione
Questo studio è parte di un progetto più ampio il cui obiettivo generale è quello di sviluppare una metodologia di classificazione automatica applicata ad immagini Leica ADS40. Le immagini impiegate per il Falso Colore fanno parte delle riprese aerofotogrammetriche eseguite su tutta la regione Marche nel periodo giugno/luglio 2007 e fornite dalla Regione Marche stessa grazie ad un Accordo di Ricerca siglato con i dipartimenti DARDUS, DIIGA e DiSASC dell'Università Politecnica delle Marche.
L'area di studio è la zona del Parco naturale del monte Conero, in Provincia di Ancona (Figura 1). L'area è stata scelta per l'ampia variabilità degli aspetti morfologici e l'ampia rappresentatività delle diverse coperture del suolo previste dalla legenda *Corine Land Cover* (presenza di aree urbanizzate con differenti densità abitative, di aree commerciali, di aree agricole e forestali).



Figura 1 Area di studio e scena test in falsi colori acquisita dal sensore Leica ADS40

Metodologia

Il processamento digitale delle immagini finalizzato alla generazione di carte uso del suolo può essere compiuto con diversi approcci e a diversi livelli di dettaglio. Per estrarre informazioni a basso livello di dettaglio può essere sufficiente analizzare il contenuto radiometrico del singolo pixel, mentre per aumentare il livello di dettaglio della classificazione si utilizzano metodi di segmentazione. L'Analisi delle Componenti Principali (PCA) è effettuata al livello del pixel.

La PCA nella *map* algebra viene impiegata con diverse finalità, principalmente:

- trasformazione delle bande originali per ottenere nuove pseudobande non correlate, da usare successivamente nel processo di classificazione. Questa modalità viene spesso usata nel telerilevamento per comprimere il contenuto informativo di un numero *n* di bande originali in un numero minore. Il processo di classificazione viene così semplificato e può dare risultati migliori.
- identificazione di *features*. La PCA viene impiegata come algoritmo di classificazione (es. identificazione di un volto, introdotto per la prima volta da Turk e Pentland nel 1991).

In quest'ultimo approccio gli autovettori vengono calcolati da un insieme campione di immagini, ognuna rappresentante un tipo di oggetto. Nell'identificazione di un volto usualmente il più alto autovalore (e relativo autovettore associato) o il maggiore *face-like* delle basi ortonormali dei vettori viene chiamato *eigenface*. Ogni autovettore rappresenta una *feature* dell'immagine e tutti insieme rappresentano uno spazio delle *features*. Ogni immagine può essere così ottenuta come combinazione lineare di autovettori e proiettata nello spazio delle *features*. Nella fase di riconoscimento sono calcolate le componenti di una immagine proiettandola nello spazio delle *features* e confrontandola con le componenti delle altre immagini.

Bajwa e Hyde (Bajwa & Hyde, 2005) applicarono questa metodologia ad immagini satellitari per la classificazione delle nubi. In questo caso ogni immagine dell'insieme campione rappresenta una nube. Ogni classe è rappresentata da un certo numero di immagini delle nubi nell'insieme campione. Per la riuscita della classificazione le classi devono essere ben separate da una serie di *features*. Nella fase di addestramento il sistema calcola gli autovettori dell'insieme dei campioni di *training* per produrre uno spazio immagine. Nella fase di classificazione ogni nuova immagine di nubi può essere classificata confrontando le sue componenti nello spazio delle *features* con le componenti dell'insieme campione che fanno parte di una data classe.

Il metodo proposto in questa sede si differenzia da entrambi i metodi illustrati sopra. L'analisi ha portato alla definizione di pseudobande maggiormente significative di quelle originali, utili per l'estrazione di oggetti appartenenti ad una specifica classe di uso del suolo. Le pseudobande sono state ottenute mediante la combinazione lineare delle bande originali, usando come coefficienti della trasformazione lineare gli autovettori provenienti dall'Analisi delle Componenti Principali (PCA) applicata esclusivamente al set di campioni della classe "rete stradale e ferroviaria". Le immagini originali sono state così proiettate in uno spazio che discrimina maggiormente le caratteristiche relative a tale classe. Successivamente le pseudobande sono state segmentate per

mezzo di soglie definite a partire dagli istogrammi delle Componenti Principali del *training set*. Un campione di controllo è stato utilizzato per validare la metodologia per mezzo della Confusion Matrix. Il metodo, già testato su immagini satellitari IKONOS (Bernardini et al., 2008), in questo caso è stato applicato alle immagini multispettrali del sensore Leica ADS40.
La procedura può essere suddivisa nelle seguenti fasi (Figura 2):

- PRE-PROCESSAMENTO: consiste nella ortorettifica delle immagini nel sistema di riferimento scelto;
- DEFINIZIONE DEL SET DI TRAINING E DI CONTROLLO: viene definito un esauriente numero di campioni, basato su una classificazione gerarchica, che è il punto di partenza per poter applicare l'analisi PCA e per la successiva valutazione dei risultati;
- TRASFORMAZIONE DELLE IMMAGINI: viene eseguita la trasformazione delle immagini basata sugli autovettori derivanti dall'analisi del *training set*. Le immagini ottenute, opportunamente filtrate, possono essere utilizzate come maschere per la successiva segmentazione della specifica classe.
- VALUTAZIONE DEI RISULTATI: viene stimata la precisione con cui è stata eseguita la fase di sogliatura.

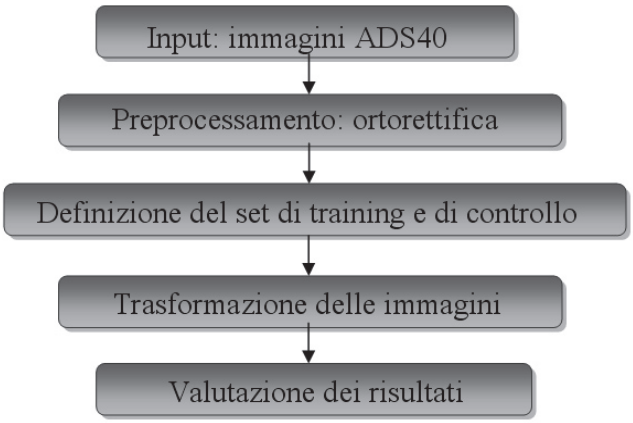


Figura 2 Successione delle fasi impiegate per la classificazione delle immagini ADS40 con il metodo PCA

Preprocessamento e definizione del set di training e di controllo
Il processo di ortorettifica delle immagini ADS40 è stato condotto attraverso il software *SOCET Set della BAE Systems Mission Solutions Inc.* (Malinverni et al., 2008) ottenendo le immagini georeferenziate oltre che del sensore RGB anche delle 3 bande multispettrali (Red, Green, Infrared) con risoluzione 1 metro nel sistema UTM WGS84.
I presupposti per una classificazione accurata sono un adeguato sistema di classificazione e un numero sufficiente di immagini campione. Il sistema dovrebbe essere informativo, esauriente e separabile (Jensen1996, Landgrebe 2003). Il primo passo è la definizione di una struttura di classificazione gerarchica, che si fonda sulle necessità dell'utente e sulla risoluzione dell'immagine. Sulla base di questa struttura possono essere definiti un numero significativo di immagini campione.
La necessità di un sistema di classificazione standard suggerisce l'uso della nomenclatura *Corine Land Cover* che è stata creata nell'ambito di un progetto Europeo coordinato dalla *European Environmental Agency* (EEA) con l'obiettivo di definire inventari della copertura del suolo per tutti i Paesi Europei alla scala 1:100.000, utili per le applicazioni del telerilevamento. La legenda ha una

struttura gerarchica su tre livelli, contenenti 44 classi di *land-cover*. Al primo livello abbiamo adottato quattro classi: Aree Artificiali (1), Aree Agricole (2), Foreste e Aree Naturali (3), Acque Superficiali (5). Per ogni classe è stato realizzato un campione, composto da una serie di poligoni. Per le Aree Artificiali e le Acque Superficiali i campioni sono stati individuati mediante tecniche classiche di fotointerpretazione o rilievo diretto in campagna. Per i campioni di Aree Agricole e Forestali è stato necessario effettuare una ricerca sui sistemi informativi agricolo-forestali per trovare delle verità a terra contemporanee al periodo di acquisizione. Complessivamente sono stati estratti 18.000 pixel di addestramento, appartenenti a 27 classi.
In seguito ad una analisi sulla separabilità (Swain & Davis, 1978), basato sull'analisi degli istogrammi delle diverse bande, alcune classi sono state accorpate, ottenendo un numero di classi pari a 15.
Questo studio si è focalizzato sulla classe *Corine Land Cover* denominata "rete stradale e ferroviaria". I campioni sono stati definiti separatamente per strade, ferrovie ed aree di parcheggio. Per la rete stradale il processo di campionamento ha preso in considerazione i differenti materiali della pavimentazione (asfalto, ghiaia, cemento). Sulla base dell'analisi di separabilità è stato osservato che la risposta spettrale della rete stradale in asfalto, dei parcheggi asfaltati e della ferrovia è molto simile. Si è visto anche che gli edifici di tipo commerciale ed industriale con coperture in materiale bituminoso danno risposta spettrale molto simile a quella delle strade e della rete ferroviaria. Così i campioni relativi a queste categorie sono stati accorpati.
La totalità dei campioni alla fine è risultata formata da 34 poligoni pari a circa 2000 pixel. La metà di questi poligoni è stata utilizzata nella fase di addestramento e i restanti in quella della valutazione dei risultati.

Trasformazione delle immagini
L'analisi è stata eseguita con il software *open source* ILWIS (*Integrated Land and Water Informaton System*). Il software, sviluppato nel 1984 dall'istituto Olandese ITC (*Istitute for Aereospace Survey and Earth Sciences*), è stato reso *open source* dal 1 Luglio 2007. È un software che fornisce procedure di analisi di immagine in ambiente GIS; le sue funzioni interne di *image-processing* possono essere organizzate in una sequenza di istruzioni mediante semplici *script* che ne consentono un'ampia personalizzazione e una facile implementazione.
Per ogni immagine ADS40 ne è stata creata una definita soltanto in corrispondenza dei campioni. Al set di tre immagini così ottenute è stata applicata la PCA, che ha restituito gli autovettori della trasformazione. Tali autovettori sono stati utilizzati per trasformare sia le immagini definite sui campioni che le immagini originali. In Figura 3 sono mostrati gli istogrammi delle Componenti Principali (PC) ottenute dalle trasformazioni delle immagini dei campioni (a) e delle immagini complete (b). Si può notare come il *range* di definizione delle seconde sia più ampio di quelle ottenute dai campioni. Possiamo quindi derivare dei valori di *tresholding* da utilizzare per sogliare le PC delle immagini originali. L'immagine finale è l'intersezione delle tre componenti sogliate (Figura 4).
Per la mascheratura è stato inizialmente utilizzato un intervallo pari alla media ±3 Dev. Std., mediante il quale viene mascherato l'85,84% dell'immagine. Restringendo l'ampiezza dell'intervallo di *thresholding* è possibile ottenere un'immagine più pulita. Infatti utilizzando rispettivamente la media ±2,5 Dev. Std. e la media ±2 Dev. Std. Si ottiene così rispettivamente una mascheratura pari al 90,89% (Figura 4a) e al 94,14% (Figura 4b).

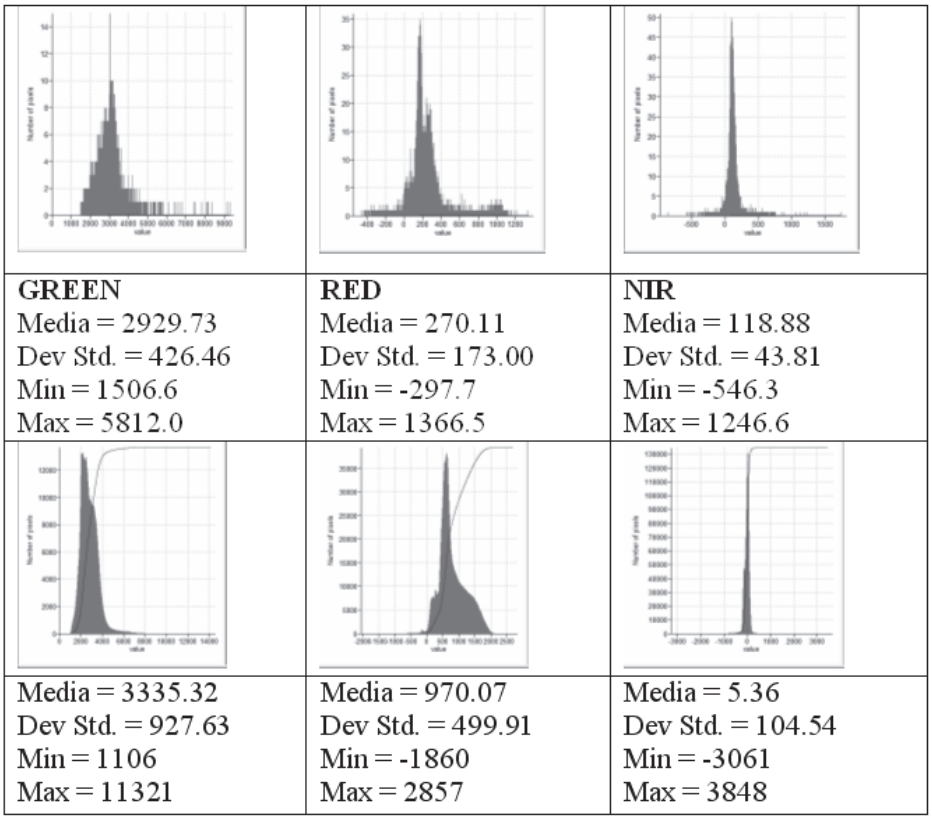


Figura 3 Istogrammi delle tre Componenti Principali ottenute dalle immagini dei campioni (a) e dalle immagini originali (b)

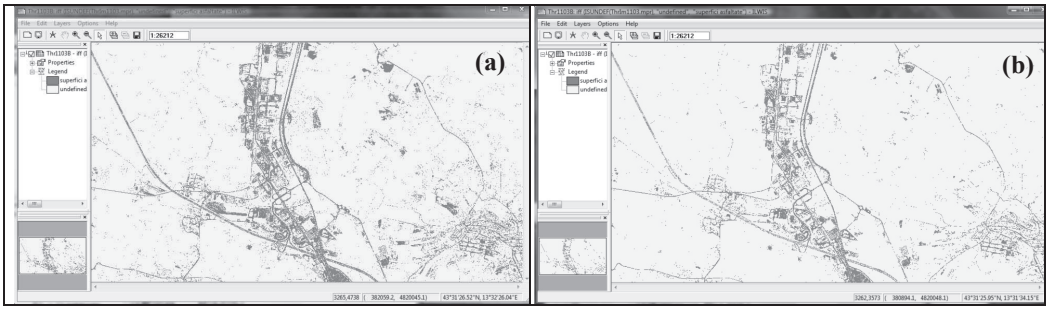


Figura 4 Immagine mascherata con l'intervallo ±2.5 Dev. Std.(a) e ±2 Dev. Std.(b)

Analisi dei risultati

L'analisi dei risultati si basa sulla Confusion Matrix, calcolata intersecando l'immagine segmentata con le immagini dei campioni di controllo. I campioni di controllo sono composti da poligoni appartenenti a tutte le classi, divisi in due categorie, la prima che comprende le Superfici Asfaltate e la seconda che include tutte le restanti classi (Altre Classi).

	Superfici Asfaltate	Altre Classi
Superfici Asfaltate	86,17%	2,15%
Altre Classi	13,83%	97,85%

Intervallo ±2 Dev. Std.

	Superfici Asfaltate	Altre Classi
Superfici Asfaltate	90,71%	4,00%
Altre Classi	9,29%	96,00%

Intervallo ±2,5 Dev. Std.

Tabella 1 Matrice di confusione dell'immagine mascherata con l'intervallo ±2 Dev Std.(a) e dell'immagine mascherata con l'intervallo ±2.5 Dev Std.(b)

Dalla matrice di confusione si evince che utilizzando l'immagine mascherata con l'intervallo media ±2.5 Dev. Std. viene estratto il 90% dei pixel delle strade, percentuale superiore a quella ottenibile con l'immagine mascherata utilizzando l'intervallo media ±2 Dev Std., che risulta pari a 86%. Nella tabella 2 il risultato viene confrontato con quello già ottenuto applicando il procedimento alle immagini IKONOS (Bernardini & Al, 2008).

	Superfici Asfaltate	Altre Classi
Superfici Asfaltate	87%	4%
Altre Classi	13%	96%

Tabella 2 Matrice di confusione ottenuta applicando il procedimento alle immagini IKONOS, mascherate con l'intervallo media ±2,5 Dev. Std.

I risultati forniti dalle immagini ADS40 sono migliori di quelli ottenuti dalle immagini IKONOS.

Conclusioni

La ricerca ha presentato i risultati di un metodo di classificazione basato sulla PCA, applicato sulle immagini Leica ADS40. Il metodo opera attraverso procedure di *tresholding* che portano alla formazione di una immagine mascherata che può essere utilizzata per il tracciamento della rete stradale. Occorre tuttavia un preliminare filtraggio per l'eliminazione di alcune aree estratte, in particolare gli edifici industriali con coperture bituminose, che possono influenzare il processo di tracciamento.

Bibliografia

Bernardini A., Malinverni E. S., Zingaretti P., Mancini A., (2008), *Automatic Classification Methods of High-Resolution Satellite Images: the Principal Component Analysis applied to the sample training set*, Proceedings XXI Congress of ISPRS, Beijing, China, vol XXXVII, part B7, Comm VII, eds. Chen, JIANG, van Genderen, pagg. 701-706.

Malinverni E. S., Bellesi S., (2008), *Modelli per la generazione di ortofoto digitali a media scala da sensore digitale Leica ADS40*, Atti della 12° Conferenza ASITA, L'Aquila.

Bajwa I. S., Hyder S. I., (2005), *PCA based Image Classification of Single-layered Cloud Types*, IEEE, International Conference on Emerging Technologies.

Swain P. H., Davis S. M., (1978), *Remote sensing: The quantitative approach*, New York: McGraw-Hill, Capitolo 3.

Turk M., Pentland A., (1991), *Eigenfaces for Recognition*, Journal of Cognitive Neurosicence, Vol. 3, No. 1, pagg. 71-86.

Lu J., Plataniotis K. N., Venetsanopoulos A. N., (2003), *Face Recognition Using LDA-Based Algorithms*, IEEE Trans. on Neural Networks, Vol. 14, No. 1, pagg. 195-200.

AGGIORNAMENTO DEL DATABASE TOPOGRAFICO E DEI TEMATISMI DI BASE DEL SIT REGIONALE ATTRAVERSO IMMAGINI DA SATELLITE AD ALTA RISOLUZIONE

Eleonora BERTACCHINI (*), Antonio BELLANOVA (**), Alessandro CAPRA (*), Tina CAROPPO (**)

(*) DIMeC –Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Civile - Università di Modena e Reggio Emilia
Via Vignolese, 905 – 41100 Modena, alessandro.capra@unimore.it
(**) Tecnopolis Csata – str. Prov. per Casamassima Km 3, 70010 Valenzano - Bari

Riassunto esteso

La Regione Puglia, nell'ambito del progetto del Sistema Informativo Territoriale, sta realizzando una base di conoscenza territoriale che prevede tra gli altri prodotti il database topografico (DBT), alla scala 1:5.000, in conformità alle specifiche IntesaGIS. Esso rappresenta uno strumento innovativo a livello regionale e nazionale, composto da una serie di strati tematici (10 in totale), che hanno l'obiettivo di rappresentare il territorio in tutte le sue peculiarità, in maniera propria agli usi nei sistemi informativi territoriali. Poiché il DBT quindi è uno strumento di controllo generale del territorio è indispensabile che sia costantemente in linea con le trasformazioni che caratterizzano la regione, pertanto è indispensabile prevederne il continuo aggiornamento. Con tale obiettivo si è ampliata la collaborazione già in corso tra l'Università di Modena e Reggio Emilia e Tecnopolis, ente attuatore del SIT, volta a valutare quale possa essere fra le metodologie e le fonti di dati utilizzabili, la più opportuna ai fini dell'aggiornamento del DBT e a seguire degli altri prodotti, anche tematici, realizzati. In questo contesto si intende presentare i risultati ottenuti dall'utilizzo di dati da satellite ad alta risoluzione, e nello specifico QuickBird, per gli obiettivi appena esposti. Come area test si è scelta una zona costiera (Dominici et al. 2006) dalla morfologia abbastanza complessa e con copertura superficiale diversificata (zone urbane, boscate, agricole, ecc.). In particolare, la sperimentazione riguarda un'area del Gargano intorno al Comune di Peschici, ripresa dal satellite QuickBird il 28 luglio 2007 subito dopo il drammatico incendio intercorso la scorsa estate. L'immagine si presenta con bassa copertura nuvolosa, ma con un elevato angolo di off-nadir (16.56°). Le condizioni operative per l'ortorettifica sono quindi al limite di quelle consigliate in letteratura, ma appropriate per valutare se è possibile ottenere valori di accuratezza dell'ordine di 1m, compatibili con l'aggiornamento alla scala 1:5000.

Il primo obiettivo è quello di definire una procedura di ortorettifica dell'immagine che, sfruttando la banca dati preesistente, permetta di ottenere accuratezze adeguate alla scala di lavoro. In particolare, come GCP (*Ground Control Point*) sono impiegati i vertici della rete planoaltimetrica di appoggio usata per l'orientamento del rilievo fotogrammetrico del 2006 e come modello digitale del terreno il DTM (*Digital Terrain Model*) creato dallo stesso rilievo. Il modello matematico utilizzato è quello rigoroso di Toutin (Toutin, 2004), mentre le elaborazioni sono state realizzate con il software Orthoengine di Geomatica (v 10.1). Verificando la visibilità dei GCP sull'immagine, ci si è resi conto che dei molti punti disponibili, solamente 9 potevano essere effettivamente impiegati per l'elaborazione. Da alcuni test speditivi è emerso che il numero di GCP non fosse sufficiente, né per ortorettificare l'immagine satellitare, anche in virtù della distribuzione spaziale dei punti stessi, né per valutare l'accuratezza del risultato ottenuto. Si è quindi deciso di raffittire la rete di GCP, scegliendo punti dalla cartografia tecnica numerica (CTN a scala 1:5000), portando a 42 il numero dei punti utilizzabili (Figura 2.sx).

Come ipotizzabile, da questa sperimentazione si sono ottenute immagini ortorettificate con un'accuratezza minore rispetto a quella descritta in letteratura (Toutin et al. 2002) a causa delle caratteristiche non ottimali del materiale a disposizione (Tabella 1). Sia dal controllo qualitativo (sovrapposizione dell'immagine ortorettificata alla CTN scala 1:5000 - Figura 2.dx -) che dal controllo quantitativo sui GCP si sono attenuti risultati abbastanza soddisfacenti, ma non ottimali ai fini dell'aggiornamento del database topografico. Si è quindi deciso di procedere, nel prossimo futuro, realizzando un campagna di rilievo GPS (*Global Positioning System*) per determinare univocamente sull'immagine le coordinate dei GCP e per definirne una distribuzione uniforme sul territorio allo scopo di aumentare l'accuratezza dell'immagine ortorettificata e ridurne lo SQM, portandone l'entità a un valore inferiore al metro (Capra et al. 2007). Inoltre, si è pensato di realizzare test di ortorettifica su altre aree della Puglia attraverso immagini ad alta risoluzione, acquisite con un diverso angolo di off-nadir (< 5°), per confrontare l'accuratezza dei risultati. Raggiunti i risultati di accuratezza prefissati, la metodologia di lavoro sarà estesa a tutti gli altri prodotti realizzati nell'ambito del progetto SIT, quali DTM, ortofoto, uso del suolo e cartografie tematiche, come la mappa delle aree percorse da incendio. Il tutto, riportato in un apposito protocollo di lavoro, permetterà l'aggiornamento continuo di tutti i contenuti informativi cartografici del progetto SIT.

	SQM orientamento (m) - GCP		SQM immagine ortorettificata (m) - CP	
	X	Y	X	Y
30 GCP e 12 CP	*1.05*	*3.80*	*1.07*	*1.38*
25 GCP e 17 CP	*0.69*	*1.21*	*1.65*	*1.39*
20 GCP e 22 CP	*0.58*	*0.71*	*1.40*	*1.44*

Tabella 1 – SQM (m) relativi all'orientamento dell'immagine e all'accuratezza del risultato finale al variare del numero dei GCP e dei CP, per le direzioni X e Y.

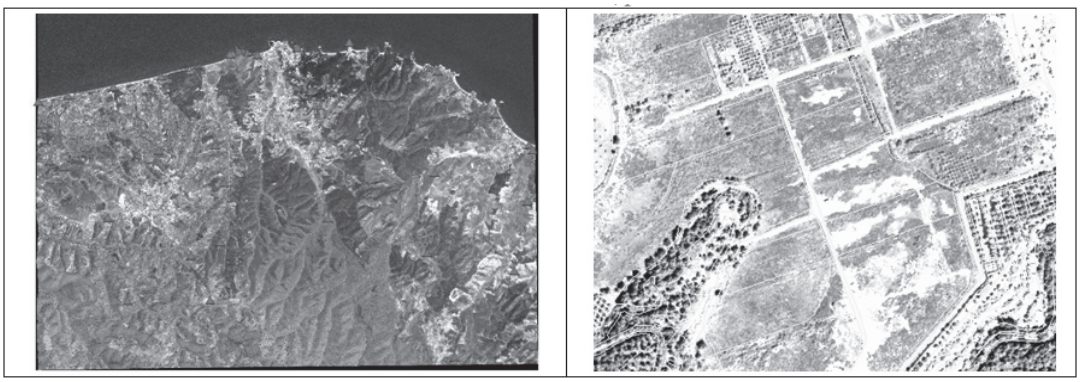


Figura 2 – sx. Distribuzionee dei punti dx. Sovrapposizione dell'immagine ortorettificata con la cartografia vettoriale alla scala 1:5000

Bibliografia

Capra A, Bertacchini E, Dubbini M, Immordino F, (2007). *"Ortorettifica di immagini satellitari IKONOS della costa del Molise attraverso il modello DLT".* Atti del convegno 2007.

Dominici D, Feltrami G M, De Girolamo P. (2006). "Ortorettifica di Immagini satellitari ad alta risoluzione finalizzata al monitoraggio costiero a scala regionale", *Studi Costieri*, 11: 145-146.

Toutin T, (2004). "Review article: Geometric Processing of remote sensing images: models, algoriths and methods". *International Journal of Remote Sensing*, 25 (10), pp. 1893-1924.

Toutin T, Chérnier R, Carbonneau Y, 2002. "3D models for high resolution images: examples with QuickBird, IKONOS and Eros". *International Archives of ISPRS Symposium.* 43 (4), pp. 457-551

IL RILIEVO LASER SCANNER 3D DELLA TORRE CAMPANARIA DELLA PIEVE DI SANTA MARIA IN CASTELLO, DETTA "LA SAGRA"

Eleonora BERTACCHINI, Alessandro CAPRA, Cristina CASTAGNETTA, Marco DUBBINI

DIMeC –Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Civile– Università di Modena e Reggio Emilia, Via Vignolese 905, 41100 Modena, 059205(6295, 6188, 6298, 6297), (eleonora.bertacchini, capra.alessandro, cristina.castagnetti, marco.dubbini)@unimore.it

Riassunto esteso

L'oggetto della ricerca è la realizzazione di un rilievo laser scanner 3D finalizzato al controllo della stabilità della struttura nel tempo e alla determinazione dell'inclinazione della torre campanaria (Fig.1). Le indagini servono altresì a rendere efficace e duraturo nel tempo un intervento di restauro indirizzato ad un oggetto di grande rilevanza storica e architettonica. La chiesa, risalente all'età longobarda, e la torre campanaria dell'undicesimo secolo, infatti, sono di particolare interesse storico in quanto esemplari di architettura romanica della pianura modenese. Inoltre, i due edifici sono inseriti all'interno della cinta muraria della città di Carpi e sono incorniciati da complessi storici di particolare pregio, quali per esempio il Palazzo dei Pio e il Palazzo della Pieve.



Fig. 1 –Torre della Sagra

Nel corso degli anni e in particolare nell'ultimo intervento di restauro del sito monumentale, risalente agli anni settanta-ottanta, l'attenzione è sempre stata rivolta all'antica pieve e prioritariamente alla conservazione e al recupero degli affreschi raffigurati negli interni. Perciò è poco il materiale che si ha a disposizione per il restauro dell'imponente torre. È stato effettuato quindi un rilievo con strumentazione laser scanner (Scanstation2, Leica Geosystem) delle facciate esterne e degli interni, corrispondenti a 8 vani, al fine di costituire un unico modello tridimensionale georeferenziato (Fig. 2 e 3).

Tutte le scansioni eseguite (8 scansioni esterne e 30 scansioni interne) sono state assemblate utilizzando sia target retroriflettenti comuni preventivamente posizionati, sia le coordinate di altri target determinate in un unico sistema di riferimento locale, per mezzo di una poligonale chiusa di inquadramento e misure ridondanti.

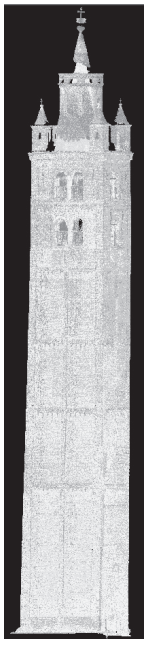


Fig. 2 – Scansione

I dati topografici sono stati acquisiti utilizzando una Stazione Totale Topcon GPT6001A. I dati sono stati compensati utilizzando il software STAR*Net. A partire dal rilievo sono state anche

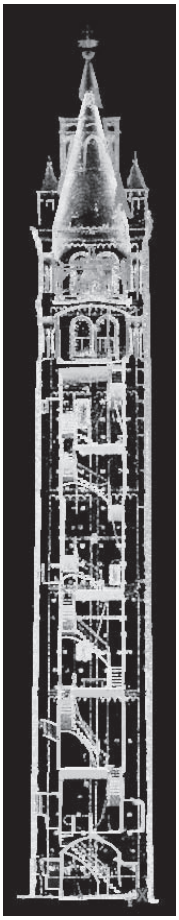


Fig. 2 – Veduta scansione

realizzate ortofoto delle facciate della torre utilizzando per le prese una camera fotogrammetrica Rolleiflex P6006, con lo scopo principale di rappresentare la parte superiore della torre, essendo questa la parte con i minori dati laser a disposizione. Le prese sono state eseguite per mezzo di un cestello mobile.
La seconda fase dello studio, che avverrà nei primi mesi del 2009 consisterà nell'istituire una serie di strutture (pilastrini in cemento armato con centramento forzato in sommità) capaci di supportare misure di altissima precisione per la determinazione delle inclinazioni della torre nel tempo. Si vuole quindi mettere in atto un monitoraggio periodico per la determinazione delle deflessioni di due linee verticali significative.
Questo in relazione ai movimenti verticali del suolo legati al fenomeno della subsidenza che interessa l'intera Pianura Padana. In previsione infatti vi è anche la realizzazione di una rete di livellazione geometrica di alta precisione al fine di controllare i movimenti verticali della base della torre e della limitrofa Chiesa della Sagra.

Bibliografia

Bertacchini E., Capra A., Castagnetti C., Dubbini M., (2008), "Il Monitoraggio della Torre civica di Modena detta della "Ghirlandina"", *Atti Convegno Nazionale SIFET08*.
Balzani M., Scopino R., Uccelli F., "Il rilievo 3D per l'integrazione dei sistemi informativi di documentazione storica e di restauro della Cattedrale di Pisa e della Piazza dei Miracoli", (2008) Il Cantiere della Conoscenza – Metodologie e strumenti per la conservazione ed il restauro. Edito "Arte Tipografica Editrice" –Napoli- 343-364
ISBN 978-88-89776-84-1

MONITORAGGIO CONTINUO DELLA FRANA DEI BOSCHI DI VALORIA (APPENNINO MODENESE, ITALIA) TRAMITE INTEGRAZIONE GPS, STAZIONE TOTALE AUTOMATIZZATA E SENSORE INCLINOMETRICO

Eleonora BERTACCHINI (*), Alessandro CAPRA (*), Cristina CASTAGNETTA (*), Marco DUBBINI (*), Alessandro CORSINI (**), Francesco RONCHETTI (**)

(*) DIMeC –Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Civile– Università di Modena e Reggio Emilia, Via Vignolese 905, 41100 Modena, (eleonora.bertacchini, capra.alessandro, cristina.castagnetti, marco.dubbini)@unimore.it
(**) DST –Dipartimento di Scienze della Terra– Università degli studi di Modena e Reggio Emilia, Largo S. Eufemia 19, 41100 Modena, (alessandro.corsini, francesco.ronchetti)@unimore.it

Riassunto esteso

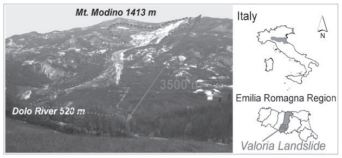


Figura 1 –Frana di Valoria

La frana dei Boschi di Valoria, situata negli Appennini della regione Emilia Romagna (Figura 1), è costituita da un sistema complesso di movimenti rototraslativi, riattivatisi parzialmente o completamente diverse volte negli ultimi 60 anni (Ronchetti et al., 2007). Nel caso specifico non vi è un rischio immediato per la popolazione perché l'area di frana non coinvolge centri abitati. Nonostante ciò la presenza di un fiume proprio a valle del fenomeno di conseguenza il rischio di esondazione dell'area e l'interruzione della viabilità con il progredire del movimento, rendono indispensabile lo studio accurato del fenomeno di dissesto idrogeologico tramite l'integrazione di misure di spostamenti superficiali ottenuti mediante rilievi con tecnica satellitare (GPS, *Global Positioning System*) e tradizionale (stazione totale robotizzata). La scelta di monitorare in modo completo e continuo con diverse tipologie di strumentazione, nasce dopo anni di studi su questo gigantesco complesso franoso del quale, però, ancora non si conosce il meccanismo di funzionamento e deformazione. Il sistema di monitoraggio è costituito da 45 prismi, di cui 40 posizionati nel corpo di frana e 5 in luoghi ritenuti stabili rispetto all'entità del fenomeno, utilizzati come riferimenti esterni e costantemente rivolti verso la stazione totale robotizzata (*TCA 2003 Leica*) posta anch'essa in zona esterna all'area di frana. A costituire la stazione *master*, si trova un ricevitore GPS doppia frequenza (*GMX 902 Leica*) rispetto al quale vengono elaborate le posizioni di 4 punti GPS dotati di ricevitori monofrequenza (*GMX 901 Leica*) e collocati in frana. A completamento della postazione *master* è stato installato un sensore inclinometrico (*Nivel210 Leica*) sul palo di sostegno dellaTCA, con la finalità di valutare l'effettiva stabilità del sito. Il sistema, pienamente operativo da Agosto 2008 (priorità è stata data all'installazione della TCA, Aprile 2008), è in acquisizione continua con gestione da remoto per lo scarico ed elaborazione dati. La messa in continuo del sistema è frutto di valutazioni dovute ad una sperimentazione precedente di tipo periodico (Novembre 2007 – Marzo 2008) eseguita presso il medesimo sito (Capra et al., 2008). Il sistema fino ad ora ha permesso di valutare su alcuni punti spostamenti fino a decine di metri al giorno nelle fasi più acute di riattivazione della frana e ciò ha reso ancora più urgente la progettazione di un sistema di allertamento e controllo remoto per tenere costantemente monitorato il fenomeno.

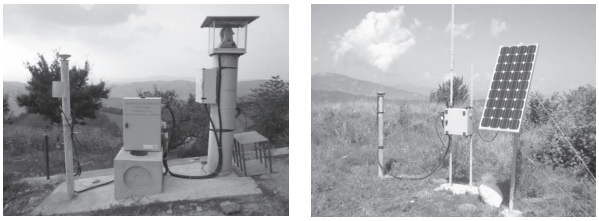


Figura 2 – Sistema integrato di monitoraggio: postazione master (sinistra); postazione rover (destra)

Il sistema è ancora in fase di collaudo e quindi necessita ancora della supervisione di un operatore che interpreti il dato per pianificare gli interventi e l'allertamento della popolazione. Una volta messo a punto, però, sarà in grado di gestire pre-allarmi e allarmi in maniera automatica, avvertendo le autorità competenti in caso di evento significativo nelle zone a rischio. Gli spostamenti più significativi sono stati riscontrati nel 2007, in corrispondenza del periodo autunnale, per mezzo di monitoraggio periodico.

Nel periodo primaverile del 2008 la frana sembra essersi stabilizzata, probabilmente in virtù dell'inverno poco nevoso e della scarsità di piogge. Dai risultati del monitoraggio continuo estivo è emerso un fenomeno inatteso che ha messo in dubbio l'ubicazione della postazione *master*: secondo i passati studi geologici dell'area franosa, il sito potrebbe essere ritenuto con ragionevole certezza geologicamente stabile, ma fenomeni di ritiro estivo del terreno dovuto alla scarsa piovosità primaverile, congiuntamente all'assestamento della postazione e in particolare del basamento in cemento armato (di recente costruzione rispetto a resto dell'area) hanno provocato movimenti del sito confermati sia dalla TCA sia dal sensore inclinometrico (Figura 3). Si può notare da entrambi i grafici come in breve tempo (circa 2-3 mesi) sia stato necessario rimettere in bolla più volte gli strumenti per permetterne il corretto funzionamento e la misura (limite: TCA, 0.08Gon; Nivel, 0.0012rad). Una valutazione più precisa sull'eventuale andamento ciclico stagionale degli spostamenti e la conferma della teoria ipotizzata in prima istanza si avrà dall'analisi delle serie temporali della master GPS. È in atto l'elaborazione di sessioni giornaliere della stazione rispetto alla stazione permanente EUREF MOPS, a circa 50 km. Attualmente non si può ancora concludere nulla perché la master GPS è operativa solamente dal 28 Luglio 2008. L'immediato futuro vedrà lo studio approfondito del dato GPS, tramite il quale si potrà dare spiegazione al fenomeno e calcolare le velocità del moto, se si riterrà significativo ai fini delle misure. Con questo parametro sarà possibile depurare tutte le misure effettuate dalla componente di movimento della master, che non deve erroneamente essere interpretata come movimento del punto in frana.

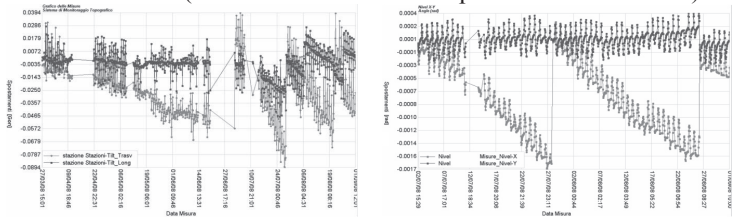


Figura 3 – Movimento riscontrato nell'area geologicamente stabile dalla TCA (sinistra) e dall'inclinometro (destra)

Bibliografia

Capra A., Corsini A., Bertacchini E., Borgatti L., Castagnetti C., Cervi F., Dubbini M., Ronchetti F. (2008), "Monitoring active earth slides failure dynamics by means of an integrated GPS-automatic total station approach", *Convegno EGU General Assembly*.

Ronchetti F., Borgatti L., Cervi F., Lucente C.C., Veneziano M., Corsini, A. (2007), "The Valoria landslide reactivation in 2005-2006 (Northern Apennines, Italy)", *Landslides (Springer),* 4(2): 189-195.

VALUTAZIONE DEGLI ERRORI SISTEMATICI NELLA PRODUZIONE DI DTM CON TECNOLOGIA LIDAR AVIOTRASPORTATA

Camillo BERTI (*), Fabio CAMICIOTTOLI (**), Riccardo NESPOLI (***), Marco REDINI (****), Luciano SURACE (*****)

(*) Università di Firenze, Dipartimento Studi Storici e Geografici, Via San Gallo, 10, Firenze, camillo.berti@gmail.com
(**) Provincia di Arezzo, Servizio Difesa del Suolo, Via Arrigo Testa, 2, Arezzo, fcamiciottoli@provincia.arezzo.it
(***) Provincia di Arezzo, Servizio Difesa del Suolo, Via Arrigo Testa, 2, Arezzo, rnespoli@provincia.arezzo.it
(****) Comune di Pisa, Ufficio Urbanistica, m.redini@comune.pisa.it
(*****) Istituto Idrografico della Marina, Passo dell'Osservatorio, 4, Genova, luciano.surace@libero.it

Riassunto
Scopo del presente lavoro è valutare il grado di precisione altimetrica desumibile da modelli digitali di superficie (primo e ultimo impulso) acquisiti con tecnica Lidar e indagare la possibilità, in analisi a scala locale, di migliorare ulteriormente tale valore, identificando la presenza di eventuali errori sistematici, al fine di minimizzarli in fase di pre-elaborazione. Lo studio si è basato sul confronto puntuale di dati altimetrici derivanti da Lidar con rilievi topografici di controllo effettuati con tecnica GPS e ha confermato l'eccezionale qualità dei dati ottenuti tramite laser scanning. L'argomento è di particolare interesse perché il miglioramento della qualità altimetrica dei modelli può apportare benefici sia quando i dati sono di ausilio a modellistiche idrauliche, sia quando sono funzionali alla determinazione dei costi nelle fasi di redazioni di progetti di opere pubbliche.

Abstract
The goal of this work is to evaluate the precision of the altimetric datum which is obtained by digital surface models using Lidar technology (first and last pulse). At the same time, in the frame of local analysis, this work looks inside the possibility of improving the quality of the datum by identifying and minimizing systematic errors during the pre-processing phase.
The study is based on a comparison between altitudinal datum based on Lidar technology and topographical surveys carried out with GPS; the research has confirmed the exceptional quality of the data obtained by laser scanning.
The subject and the results of this work is of great interest since the presented quality improvement of the altimetric model can bring benefits both in the field of hydraulic modelling and in the determination of financial costs during the editing of "public works" projects.

Introduzione

Il previsto innalzamento di livello della diga ENEL di Levane, utilizzata per la produzione di energia idroelettrica e per la regolazione dei deflussi del fiume Arno, ha indotto il Servizio Difesa del Suolo della Provincia di Arezzo ad effettuare una campagna di indagine conoscitiva di dettaglio su tutta la zona a monte della diga, interessata dall'eventuale risalita del livello delle acque durante gli eventi di piena. Disponendo di una solida base di dati, costituita dal modello digitale del terreno acquisito nel 2004 con tecnica laser scanning aviotrasportata, la fase di studio è stata rivolta principalmente alla definizione quantitativa delle precisioni ottenibili al di sotto dei 30 cm previsti dal capitolato di appalto.

Dati

I dati utilizzati per l'analisi derivano da una campagna di rilevamento con tecniche Lidar condotta sui fondovalle della Provincia di Arezzo e da vari rilevi di controllo a terra eseguiti prevalentemente con tecnica GPS[1].

Per la presente valutazione si è preso in considerazione, come area campione, il fondovalle del Fiume Arno in prossimità dell'abitato di Laterina in provincia di Arezzo, dove sono stati svolti i rilievi topografici di controllo nel contesto delle verifiche preliminari all'innalzamento dei livelli nella zona a monte della diga di Levane. All'interno dell'area rilevata con tecnologia laser scanning, sono state individuate 3 microaree in cui è stato eseguito un rilievo topografico di dettaglio[2]; per la valutazione si sono prescelte aree con superfici il più possibile pianeggianti (piazzali asfaltati, incroci strade) in modo da minimizzare le eventuali variazioni dovute a lievi differenze di quota.

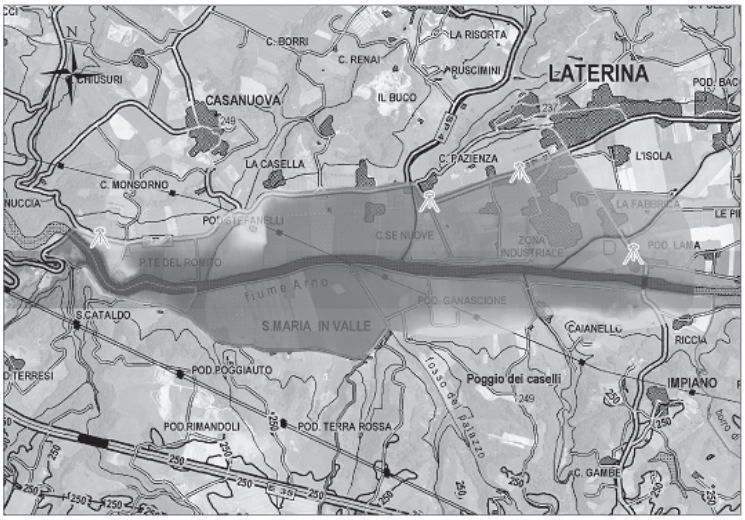


Figura 1 – Inquadramento dell'area di studio e localizzazione delle zone di controllo topografico

Il modello digitale del terreno con passo di 2 x 2 metri è stato acquisito con tecnologia laser scanning da piattaforma aerea dalla Compagnia Generale Riprese Aeree (CGR) di Parma nell'ambito di una campagna di rilevamento dei fondovalle dei corsi d'acqua principali del Casentino e della Valtiberina toscana[3]. Il rilievo, promosso dal Servizio Difesa del Suolo della Provincia di Arezzo nell'ambito dell'attività istituzionale è stato realizzato nella primavera del 2004 con il sensore Toposys e inquadrato nel sistema di riferimento ETRF89-IGM95 attraverso la correzione differenziale dei dati estratti dal ricevitore GPS montato a bordo dell'aereo e collegato al

[1] Sono stati presi in considerazione anche i dati rilevati durante la fase di collaudo del modello digitale del terreno realizzato dalla CGR di Parma sulla base dei dati Lidar. Tale rilievo è stato eseguito con tecniche miste GPS-stazione totale. Per maggiori dettagli si rimanda al volume Camiciottoli et al., 2005.

[2] Nelle tre aree (Figura 1, A, B, C) il rilievo topografico è stato eseguito per ottenere una stima quantitativa della precisione altimetrica del DTM da Lidar al di sotto del valore dei 30 cm previsti dal capitolato d'appalto. Una quarta area (Figura 1, D) era stata acquisita per il collaudo e la validazione del modello digitale del terreno.

[3] Il Modello Digitale del Terreno con passo di 2x2 metri è stato generato con algoritmo proprietario (non reso disponibile dalla ditta Toposys che ha prodotto il sensore) attraverso il filtraggio della "nuvola di punti" (densità media di 2-3 punti al m^2) nella quale sono contenute le informazioni relative al primo e all'ultimo impulso ricevuti dal sensore.

sistema inerziale IMU. Per la compensazione è stata utilizzata la stazione permanente di Arezzo[4], le cui coordinate sono state determinate rispetto ai tre trigonometrici IGM95 "di primo perimetro", in accordo con le specifiche secondo le indicazioni per il raffittimento della rete geodetica IGM95.

Il rilievo topografico di controllo è stato eseguito con tecnica GPS in modalità RTK in riferimento ad una stazione master determinata con log statico di 3 ore acquisito simultaneamente allo svolgimento della sessione RTK e compensato rispetto alla stazione permanente di Arezzo. In particolare, l'acquisizione dei punti è stata effettuata tramite 2 ricevitori GPS doppia frequenza (Leica Geosystem SR 530) con le seguenti impostazioni:

Lettura e aggiornamento del dato satellitare	0,5 sec.
Frequenza di registrazione	1 sec.
Maschera di elevazione sull'orizzonte	15°
Antenna ricevente montata su bipede con asta di 2 m	Leica AT502

Durante il rilievo dei punti di dettaglio, effettuato con tempi di acquisizione di 60 epoche, sono state eseguite anche misure in modalità statica al fine di effettuare dei controlli incrociati sulla qualità dei dati. Le operazioni di *post-processing* per la determinazione delle coordinate dei vertici nel sistema di riferimento WGS84 delle sessioni di rilievo sono state eseguite con il software Leica Geo Office versione 4.0.



Figura 2 – Una delle aree dove è stato eseguito il rilievo topografico di controllo (area B)

Per garantire il corretto inquadramento geografico e nell'ottica di costituire una banca dati geografica condivisa ed omogenea, tutti i dati utilizzati sono stati raccolti, in accordo con le specifiche di rilievo redatte dal Servizio Difesa del Suolo della Provincia di Arezzo, utilizzando le seguenti procedure:

- la georeferenziazione dei dati nel sistema di riferimento WGS84 è realizzata riferendosi alla stazione permanente GPS di Arezzo, utilizzata quale stazione *master* principale;
- le trasformazioni, dal sistema WGS84 nel sistema di riferimento cartografico nazionale, vengono eseguite attraverso l'impiego del software VERTO 2 e dei relativi grigliati (nella prima versione *gr1*) dei fogli in scala1:50.000, prodotto dall'Istituto Geografico Militare;

[4] La Stazione Permanente GPS di Arezzo (http://gps.provincia.arezzo.it/), ubicata nei locali del Servizio Difesa del Suolo in via A. Testa ad Arezzo, fa parte sia della rete di stazioni GPS della Regione Toscana, sia della rete nazionale Leica ItalPoS.

Tali specifiche hanno permesso di minimizzare gli scarti dovuti agli errori legati all'inserimento nei sistemi cartografici nazionali di riferimento planimetrico (Gauss-Boaga Roma 40) ed altimetrico (quote ortometriche riferite al mareografo di Genova) e hanno consentito di realizzare una georeferenziazione omogenea e comparabile tra i dati acquisiti con tecnica LIDAR e con metodi topografici classici per il rilievo di dettaglio.

Metodologia

Lo studio ha previsto quindi l'analisi dettagliata di singole porzioni dei modelli digitali per verificare l'eventuale presenza di errori sistematici e di quantificarne l'entità. L'analisi è stata condotta calcolando gli scarti esistenti nell'area di controllo tra i dati derivanti dalla campagna Lidar e quelli topografici GPS.

Alle quote dei punti rilevati è stata associata, attraverso le funzioni di analisi spaziale del software GIS utilizzato, l'informazione altimetrica presente nel DTM a maglia regolare eseguendo un'interpolazione bilineare[5]. Tale scelta ha consentito di attribuire, ad ogni singolo punto, un valore altimetrico calcolato sulla base del valore associato ai quattro pixel più vicini secondo la seguente equazione:

$$Q_{(x,y)} = ax + by + cxy + d \qquad [1]$$

in cui x e y sono le parti decimali del punto e a, b, c e d sono i quattro coefficienti determinati in modo tale che la funzione assuma i valori noti dei quattro pixel coinvolti.

Infine alle quote calcolate per interpolazione a partire dal DTM da Lidar sono stati sottratti i valori altimetrici che potremmo definire "reali", cioè rilevati tramite GPS,

Risultati

Il confronto dei valori di quota ha mostrato che gli scarti esistenti per i 121 punti rilevati hanno un valore medio di 0,032 m (0,045 per la media dei valori assoluti) e sono comunque sempre inferiori a 10 cm; la maggior parte dei valori si concentra tuttavia nella sezione positiva della distribuzione di frequenza degli scarti, con una mediana di 0,037 m.

Confronto quote DTM Lidar – rilievo GPS	
Numero dati	121
Media	0,032
Media valori assoluti	0,045
Mediana	0,037
Minimo	-0,106
Massimo	0,096
Range	0,202
Varianza	0,002
Deviazione standard	0,041
Asimmetria	-0,933
Curtosi	0,815

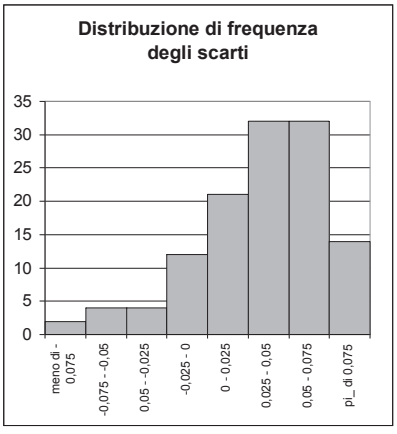


Figura 3 – a) Tabella contenente i parametri statistici relativi agli scarti rilevati tra DTM Lidar e rilievo GPS; b) Distribuzione di frequenza degli scarti

[5] L'attribuzione dei valori altimetrici è stata ottenuta attraverso la funzione "Surface Spot" dell'estensione 3D Analyst del software ESRI ArcGIS 9.2.

Complessivamente si può sottolineare, come in precedenti occasioni si è già avuto modo di notare (Berti C. et al., 2006; Berti C. et al., 2007), l'ottima qualità del dato altimetrico LIDAR, dato che per le zone controllate mostrano differenze rispetto al dato rilevato con metodi topografici minori di 10 cm e quindi di gran lunga inferiori ai 30 cm richiesti dal capitolato d'appalto. Tuttavia l'osservazione della distribuzione di frequenza ha fornito anche un'informazione aggiuntiva: la maggior parte degli scarti è compresa tra 0 e 0,075 m, con dati complessivamente piuttosto omogeneo tra tutti i punti considerati. Va notato che risultati comparabili si erano ottenuti anche durante la fase di collaudo[6], confrontando i dati Lidar con i valori rilevati con tecnica mista con stazione totale / GPS in modalità statica (log di 1 ora).
Il fatto che gli scarti risultino pressoché costanti lascia supporre che i dati derivati da laser scanning, per l'area in esame, siano caratterizzati da un sistematismo su cui merita indagare. Tale circostanza è verosimilmente imputabile alla presenza di particolari condizioni atmosferiche oppure ad una peculiare configurazione dei satelliti o infine ad altri fattori che possono aver in qualche modo condizionato le misure.
Va inoltre considerato che l'operazione di ricampionamento nella produzione del modello digitale del terreno, insieme alla successiva necessaria interpolazione per ottenere dati puntuali, pur rendendo il dato in formato *grid* di più semplice ed immediato utilizzo, comporta la perdita di una certa quantità di informazione rispetto al dato grezzo originario della "nuvola di punti", sulla base del quale potrebbe rivelarsi molto interessante effettuare ulteriori valutazioni.
Possiamo quindi ipotizzare di utilizzare il risultato per effettuare una calibrazione a posteriori dei dati da effettuarsi sottraendo ai dati stessi la media dei valori più frequenti dell'offset rilevato, operazione che ci sembra di grande utilità per effettuare una valutazione dettagliata delle quote derivate da laser scanning nell'ambito di analisi idrologiche di precisione.
Questo tipo di calibrazione, pur essendo di grande utilità per la validazione dei dati da LIDAR e per ottenere dati maggiormente affidabili, è tuttavia applicabile soltanto ad aree ristrette nello spazio e rilevate durante la medesima sessione di volo: la qualità dei dati altimetrici Lidar, calcolati sulla base del tempo di ritorno del raggio laser riflesso dalla superficie terrestre, è con ogni probabilità influenzata dalla distanza da terra del sensore, dalle condizioni atmosferiche (in particolare dall'umidità); invece, le misure posizionali determinate con i sistemi GPS-IMU montati sull'aereo che trasporta il sensore sono dipendenti in primo luogo dalla configurazione dei satelliti al momento della rilevazione

Conclusioni
Per concludere, ci sembra quindi opportuno sottolineare l'importanza di effettuare una calibrazione dei dati Lidar. Quando si ha l'esigenza di disporre di dati altimetrici maggiormente affidabili in ambito locali, cioè da effettuarsi solo per aree limitate rilevate nell'ambito della medesima sessione di volo (in modo da garantire la medesima configurazione dei satelliti, la medesima altezza di volo e analoghe condizioni atmosferiche); ugualmente molto utile risulta la possibilità di disporre, come d'altronde in ogni misura, di una documentazione accurata e completa di tutte le fasi dell'acquisizione dei dati Lidar e della produzione dei modelli digitali da essi derivati da parte delle ditte esecutrici al momento della consegna agli Enti committenti[7].
I dati da laser potranno essere quindi, a seguito di questa ulteriore fase di calibrazione, essere utilizzati con maggiore affidabilità per le valutazioni altimetriche necessarie all'attività istituzionale del Servizio Difesa del suolo della Provincia di Arezzo, quali ad esempio la determinazione delle sezioni trasversali dei corsi d'acqua e conseguentemente il calcolo del perimetro "bagnato" e dell'area sottesa dalla sezione.

[6] Durante il collaudo sono stati battuti 274 punti all'interno di un piazzale asfaltato in prossimità del ponte sull'Arno lungo la provinciale Laterina-Ponticino in prossimità della zona industriale di Laterina. Cfr. Camiciottoli et al., 2005.
[7] Nel nostro caso, ad esempio, i dati rilevati con il sensore Toposys vengono in genere consegnati, come "pacchetto chiuso" e privo di metainformazione.

Uno sviluppo del lavoro potrebbe essere costituito dall'esecuzione della valutazione svolta finora su altre aree, rilevate in tempi e condizioni atmosferiche diverse.
Ulteriori valutazioni potrebbero inoltre basarsi sull'analisi della riflettanza che correda il dato altimetrico da laser scanning, in modo da verificare se e quanto la tipologia dei materiali presenti al suolo (per natura, forma, tessitura, colore, etc) influenzi la risposta altimetrica del sensore Lidar. In tal caso sarebbe opportuno, nella scelta dei punti da utilizzare in fase di calibrazione, individuare un campione significativo di punti scelti in aree caratterizzate da diversi usi del suolo e dove siano presenti materiali differenti.

Riferimenti bibliografici

Berti C. et al. (2006). "Confronto tra rilievo topografico integrato con misure GPS e dati laser-scanning da aereo", *Atti 10ª conferenza nazionale ASITA*, Bolzano, 14 - 17 novembre 2006.
Berti C. et al. (2007). "Modelli digitali da laser-scanning per la ricostruzione di sezioni fluviali. Strategie di valutazione delle precisioni", *Atti del Convegno Nazionale SIFET*, Arezzo, 27-29 giugno 2007.
Camiciottoli F., Radicchi L. (2005), *Disciplinare tecnico. Campagna di rilevamento topografico plano altimetrico per la definizione della geometria di alcune sezioni fluviali, al fine della valutazione del rischio del reticolo secondario del bacino Tevere Toscano*, Provincia di Arezzo - Servizio Difesa del Suolo, Arezzo.
Camiciottoli F., Redini M., Surace L. (2005). *Tecnologia laser-scanning e rischio idraulico*, Pisa, Pacini.
Il sistema GPS. Applicazioni e sviluppi nel rilievo del territorio (2003). Rimini, Maggioli.
Surace L. (1998), "La georeferenziazione delle informazioni territoriali", *Bollettino di Geodesia e Scienze Affini*, 57-2: 181-234.

GPS E DINSAR PER IL MONITORAGGIO DI DEFORMAZIONI: L'ESPERIMENTO MIST E I PRIMI RISULTATI

L. BIAGI, G. VENUTI, M.G. VISCONTI

DIIAR, Politecnico di Milano, c\o polo regionale di Como, via Valleggio 11 – 22100 Como,
tel.: 0313327562, fax: 0313327519,
email: ludovico.biagi@polimi.it, giovanna.venuti@polimi.it, grazia@geomatica.como.polimi.it

Riassunto esteso

Nell'ambito del progetto Metawave (*Mitigation of Electromagnetic Transmission errors induced by Atmospheric WAter Vapour Effects*), finanziato dall'Agenzia spaziale Europea, il nostro gruppo di ricerca svolgerà l'esperimento MisT (Misure Troposferiche).

Metawave, che avrà una durata di due anni, a partire da Gennaio 2008, prevede lo studio della integrazione delle tecniche GPS e SAR nel monitoraggio di deformazioni a scala locale. In particolare di valutare la possibilità di stima dell'effetto troposferico umido a partire dalla elaborazione delle osservazioni GPS, eseguite in corrispondenza dell'acquisizione delle immagini SAR, e quindi la possibilità di predizione delle correzioni del ritardo troposferico nelle osservazioni SAR a partire dalle stime GPS.

Il segnale GPS e il segnale SAR vengono infatti ritardati nella stessa misura dalla presenza di vapor d'acqua nella troposfera. A differenza del SAR, però, in cui tale effetto non è separabile dalle deformazioni del terreno osservato, opportune compensazioni di reti GPS permettono di effettuare una stima separata del ritardo troposferico, che dunque può essere sfruttata per la correzione delle osservazioni SAR.

L'elaborazione delle osservazioni GPS di una rete di stazioni permanenti permette di stimare il cosiddetto Zenith Total Delay (ZTD), ovvero una media, generalmente oraria, del ritardo troposferico che insiste sulle osservazioni relative a ogni singola stazione della rete stessa nella direzione zenitale. Tale stima, a seconda della distanza che intercorre tra i vertici della rete in esame, può essere effettuata in maniera assoluta per ogni punto della rete o in maniera relativa , ovvero rispetto ad una stazione di riferimento. A partire dai valori stimati è in teoria possibile effettuare una predizione del ritardo troposferico nelle posizioni e nelle direzioni utili al SAR (tomografia stocastica).

L'esperimento MisT ha lo scopo di studiare la modalità di stima dei ritardi troposferici tramite il GPS e di proporre metodologie di predizione delle correzioni da applicare al SAR in vista di applicazioni a studi di deformazioni locali.

Una rete di sei stazioni geodetiche GPS, messe a disposizione da LeicaGeosystems, è stata installata intorno alla stazione permanente di Como della rete Lombardia. Le 6 stazioni sono state distribuite in una configurazione, costituita da due reti innestate, che simuli quella di una possibile rete di monitoraggio locale di deformazioni. Tre stazioni (compresa la stazione di Como), che costituiscono la rete interna, sono state poste a una distanza reciproca di qualche centinaio di metri, le altre tre, che costituiscono la rete esterna, sono state poste a una distanza reciproca di qualche migliaio di metri intorno alla rete interna. Quattro stazioni su sei sono alla quota di Como, due si trovano a una quota di circa 1000m. Cinque delle sei stazioni acquisiscono già dall'inizio di Aprile 2008, mentre l'ultima ha cominciato ad acquisire alla fine di Maggio; la fase di acquisizione si concluderà a fine Ottobre 2008.

L'elaborazione dei primi dati ha consentito già alcune considerazioni sulla stimabilità del ritardo zenitale umido (la parte dello ZTD eccedente un modello idrostatico noto), confermando ad esempio la necessità di ricorrere alla compensazione congiunta di stazioni della rete MisT con quelle della rete Lombardia, suggerendo la geometria di rete da elaborare e fornendo indicazioni sui tempi minimi in cui i ritardi possono essere valutati.
Quanto al problema della predizione delle correzioni dei ritardi nelle osservazioni SAR, la cui soluzione generale sarebbe quella della predizione di un campo tridimensionale di rifrattività a partire dalle stime di ritardi nelle stazioni GPS (tomografia), si è realizzata una prima soluzione. Si tratta di una predizione di kriging che assume il ritardo troposferico umido zenitale come un campo stocastico definito su una superficie sferica di quota costante. Tale procedura è stata implementata ed applicata alle stime di troposfera ottenute sulle stazioni permanenti della rete Lombardia. Come prevedibile, l'errore di predizione ottenuto a partire da una rete di scala regionale è troppo elevato per gli scopi del progetto; data la elevata variabilità locale degli effetti troposferici, l'analisi di dati locali risulta necessaria per affinare tale stima.
Prime considerazioni sulla modalità di rilievo e elaborazione delle osservazioni GPS, suffragati dai risultati ottenuti sulla rete MisT finora elaborata, insieme ai primi risultati sulla predizione stocastica dei ritardi da noi ottenuti saranno oggetto della comunicazione ASITA. La descrizione dettagliata dell'esperimento e dei risultati sarà invece oggetto di una pubblicazione futura.

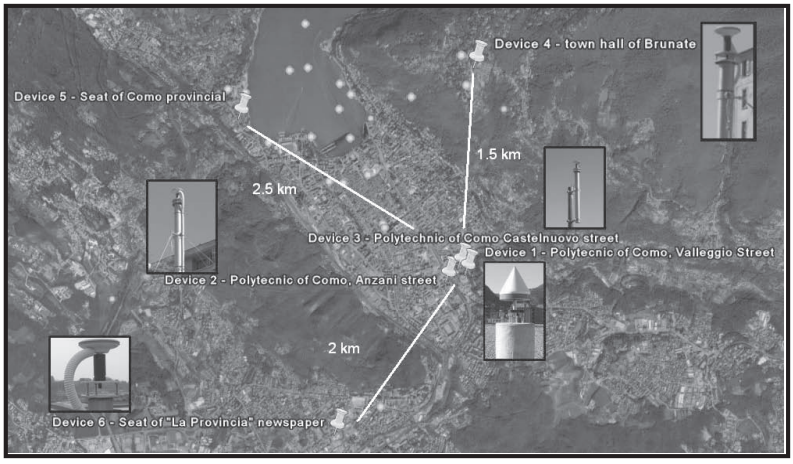


Figura 1: schema di rete delle stazioni MisT esterna

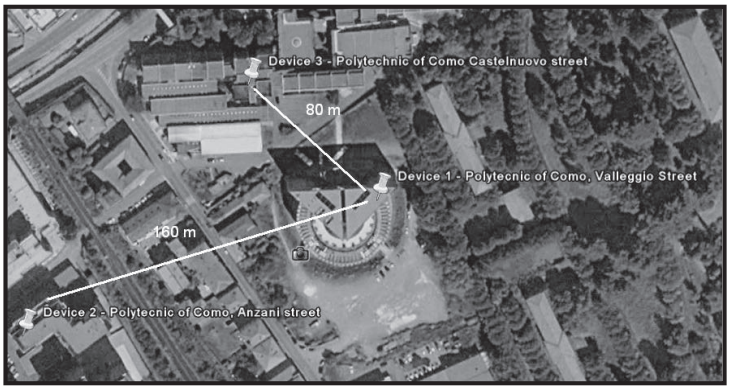


Figura 2: schema di rete delle stazioni MisT – rete interna

SCELTE DI ELABORAZIONE NELL'INQUADRAMENTO DI RETI GNSS LOCALI ED EFFETTO SUI RISULTATI

Ludovico BIAGI (*), Stefano CALDERA (*), Alessandro CAPRA (**),
Cristina CASTAGNETTI (**), Fernando SANSÒ (*)

(*) DIIAR - Politecnico di Milano, c/o Polo Regionale di Como,
via Valleggio, 11 – 22100 Como, tel. 031.3327528, fax 031.3327519, stefano.caldera@geomatica.como.polimi.it
(**) DIMeC, Università di Modena e Reggio Emilia,
Via Vignolese 905/B - 41100 Modena, tel. 059.2056298, cristina.castagnetti@unimore.it

Riassunto esteso

Le reti permanenti GNSS locali (ovvero alla scala spaziale della regione italiana) materializzano, attraverso la stima e la distribuzione delle coordinate delle loro stazioni permanenti, dei loro dati grezzi e dei prodotti di rete, il sistema di riferimento globale: l'utente che utilizza i dati e le coordinate distribuite dalla rete, in tempo reale o a posteriori, si posiziona implicitamente nel sistema materializzato da essa. A prescindere dalle accuratezze richieste dagli utenti del servizio, di grande variabilità in dipendenza dal tipo di applicazione che verrà supportata, si rende comunque necessaria un'accurata stima delle coordinate delle stazioni permanenti della rete. Tale stima rappresenta il prodotto finale della classico inquadramento della rete, che viene generalmente effettuato utilizzando un software scientifico (ad esempio il Bernese GPS Software), includendo come vincolo di compensazione alcune stazioni di riferimento appartenenti a una rete di ordine superiore, tipicamente a maglia più larga.

Ad oggi, la modellizzazione delle osservazioni GPS non è ancora completamente affinata: in particolare non per tutti i parametri di elaborazione è già stato definito un approccio ultimativo e per questo motivo sia le convenzioni dello IERS che le linee guida di IGS ed EPN vengono periodicamente aggiornate in modo da riflettere il miglioramento dello stato dell'arte; è inoltre ben noto che i risultati finali di una compensazione possono essere molto sensibili alla variazione dei parametri di elaborazione. Si ritiene opportuno aggiungere, inoltre, che le suddette linee guida si riferiscono tipicamente a reti di estensione superiore a quella delle reti locali che si stanno realizzando in Italia: perciò potrebbero non definire la migliore strategia per la loro elaborazione.

Al fine di valutare come la variazione dei parametri di elaborazione influisce sulle stime finali di un inquadramento di rete, sono stati confrontati i risultati e gli indici di qualità ottenuti dall'elaborazione di alcuni set di dati, relativi a reti locali: in particolare per l'elaborazione si sono utilizzati i dati delle reti permanenti dei servizi di posizionamento di Regione Lombardia e Regione Puglia (figura 1): per la

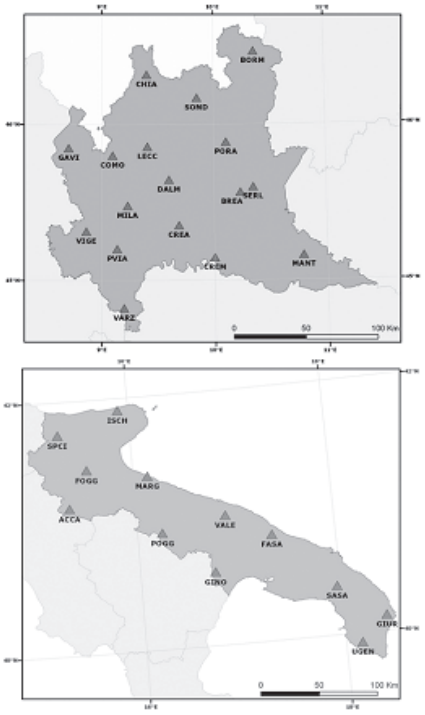


Figura 1: reti Lombardia e Puglia

rete lombarda si è elaborato un anno di dati, per la rete pugliese invece erano disponibili e sono stati considerati sei mesi di dati. Si noti che le due reti rappresentano sotto molti aspetti due casi di studio antipodali: la prima è in zona prealpina e ha forma sostanzialmente quadrata: la seconda è in prossimità delle coste e ha forma molto elongata; inoltre rispetto alla Lombardia le stazioni di inquadramento, ovvero quelle IGS, sono ben distribuite mentre rispetto al sud della nazione la distribuzione è decisamente disomogenea.

I test hanno riguardato il confronto di differenti approcci nell'inquadramento delle due reti nella rete globale IGS, sia dal punto di vista del metodo di elaborazione dei dati grezzi, sia dal punto di vista delle scelte adottate per vincolare il sistema di riferimento.

Il primo effetto analizzato riguarda le differenze nelle stime e nelle loro ripetibilità giornaliere implicate dall'uso di differenti strategie di vincolo per le stazioni di inquadramento. Innanzitutto si è valutato l'effetto della rigidità dei vincoli di inquadramento sulla ripetibilità delle coordinate delle stazioni inquadrate: la prassi d'uso comune è l'applicazione di un peso di vincolo alle coordinate delle stazioni di inquadramento derivato dall'analisi dei residui di una regressione lineare sulle stime settimanali ufficiali (SINEX). Il test è stato realizzato provando ad aumentare significativamente la rigidità del vincolo, sino a renderlo deterministico, in modo da valutare se a ciò corrispondesse un significativo cambio della ripetibilità delle coordinate delle stazioni inquadrate. Inoltre, sempre per quanto riguarda la scelta del riferimento per l'inquadramento della rete, si ricorda che da un punto di vista tecnico vincolare una rete locale attraverso l'uso delle stazioni IGS ed EPN può peggiorare l'accuratezza dei risultati in zone dove queste sono più sparse, come ad esempio nell'Italia centro-meridionale: una possibile soluzione è quella di adottare una rete permanente nazionale di ordine zero: questa, a sua volta inquadrata in IGS, diviene la rete di riferimento per l'inquadramento delle reti locali. Una rete di ordine zero, denominata Rete Dinamica Nazionale (RDN, figura 2), è appena stata istituita dall'IGM; attualmente è disponibile solo un mese di dati, dalla cui elaborazione è stato possibile ottenere i primi confronti fra risultati dell'inquadramento delle reti test in IGS piuttosto che in RDN.



Figura 2: rete RDN

Da un punto di vista della sensibilità dei risultati rispetto all'approccio di elaborazione dei dati grezzi, un primo problema analizzato consiste nella scelta del modello di stima del disturbo troposferico: si è valutato l'effettivo beneficio introdotto dall'utilizzo di un approccio di stima che preveda anche la stima dei gradienti orizzontali rispetto alla sola stima dei ritardi zenitali; si voleva verificare l'effetto di questa modellizzazione su reti locali, ovvero con piccole distanze reciproche tra le stazioni permanenti, nel dubbio che potesse avere meno influenza sui risultati rispetto alla sua applicazione su reti di scala più grande.

Per quanto riguarda l'analisi dei segnali contenuti nelle serie temporali, è stata infine valutata l'efficacia dei modelli di rimozione dell'effetto di ocean loading.

Il presente lavoro, che in forma estesa sarà pubblicato sugli atti dell'EUREF 2008 Workshop, presenta in modo approfondito i risultati dei test numerici realizzati e fornisce alcune indicazioni per l'ottimizzazione delle strategie di elaborazione.

LA TRANSIZIONE ITALIANA DA UN SISTEMA DI RIFERIMENTO STATICO A UNO DINAMICO: TRASFORMAZIONE ATTUALE E SVILUPPO DELLA RETE DINAMICA NAZIONALE

Ludovico BIAGI (*), Stefano CALDERA (*), Mattia CRESPI (**),
Ambrogio Maria MANZINO (***), Augusto MAZZONI (**),
Marco ROGGERO (****), Fernando SANSÒ (*)

(*) DIIAR - Politecnico di Milano, c/o Polo Regionale di Como,
via Valleggio, 11 – 22100 Como, tel. 031.3327562, fax 031.3327519, Ludovico.biagi@polimi.it
(**) DITS – Area di Geodesia e Geomatica, Sapienza Università di Roma
(***) DIGET - Politecnico di Torino
(****) DINSE - Politecnico di Torino

Riassunto esteso

Al fine del loro controllo, le reti GNSS permanenti locali dovrebbero essere monitorate, ovvero inquadrate, nella rete IGS: poiché IGS materializza il sistema di riferimento IGS05, seguendo tale prassi le coordinate distribuite dalle reti locali sono a loro volta in IGS05; tuttavia, per le applicazioni cartografiche, in Europa sono richieste coordinate in qualche realizzazione di ETRS89. A livello internazionale la realizzazione corrente di ETRS89 è ETRF2000, pubblicata e monitorata dalla rete permanente EPN; la realizzazione ufficiale Italiana è IGM95 che costituisce una rete statica, inizialmente composta di circa 1250 caposaldi, rilevata negli anni 90 e inquadrata in ETRF89; IGM95 è stata successivamente raffittita a livello regionale. Le differenze orizzontali fra le realizzazioni correnti di ITRS e ETRS89 sono di alcuni decimetri; inoltre IGM95 presenta ulteriori deformazioni correlate nello spazio e errori incorrelati, i cui valori arrivano sino al decimetro. L'ipotesi di base del presente lavoro è che la trasformazione fra IGS05 e IGM95 possa essere ben rappresentata da una similarità alla scala locale; ad una scala più ampia, ovvero quella della nazione, la trasformazione richiede un modello più complesso: ad esempio, la somma di una similarità e di un campo di deformazione. Su tale argomento era precedentemente stato condotto e pubblicato un primo test: il lavoro, relativo al caso delle regioni Lombardia e Piemonte, aveva permesso di investigare la trasformazione fra IGS05 e IGM95 alla sola scala locale e sostanzialmente aveva confermato le ipotesi di partenza; nell'ultimo anno si è proseguita l'analisi, estendendola però alla scala nazionale.

La base di partenza dello studio è la rete permanente GNSS per servizi di posizionamento realizzata in Italia da Leica Geosystems: la rete, chiamata ItalPos, si compone già di più di 100 stazioni, quasi omogeneamente distribuite sul territorio nazionale ed è tuttora in fase di ulteriore ampliamento. Allo stato attuale gli autori del presente lavoro hanno effettuato il primo inquadramento di ItalPos in IGS05 e la stima delle sue connessioni a IGM95.

In particolare per l'inquadramento in IGS sono state utilizzate 5 settimane di dati, dalla settimana GPS 1452 a quella 1456: le stazioni IGS pienamente operative sul territorio nazionale per quel periodo sono state vincolate stocasticamente alle coordinate pubblicate da IGS stesso, propagate al momento centrale del periodo considerato; nell'elaborazione dei dati, condotta per sessioni giornaliere ed effettuata con il programma BERNESE 5.0, sono stati adottati i tipici standard internazionali per reti permanenti con estensione regionale. Al termine dell'elaborazione dei dati grezzi, le serie di risultati giornalieri sono state controllate per verificare l'assenza di problemi

significativi; fatta questa verifica, le serie di coordinate giornaliere di ciascuna stazione ItalPos sono state mediate per ottenere una stima finale IGS05 al momento centrale del periodo considerato. A tale riguardo si noti che non si è fatta alcuna modellazione e stima di moto per le stazioni, neppure nell'ipotesi più semplice di moto lineare, poiché non avrebbe avuto alcun significato a partire da una serie temporale così corta.
Per la connessione della rete a IGM95 si è proceduto nel seguente modo: innanzitutto è stato selezionato un set iniziale di 20 caposaldi IGM95, sui quali si sono effettuati stazionamenti statici, con occupazioni da 3 a 6 ore a seconda della loro distanza dalle stazioni ItalPos; ciascun IGM95 è stato elaborato in modo indipendente, in particolare:

1. si è costruita una rete che comprendesse il caposaldo stesso e le 2-4 stazioni ItalPos più vicine;
2. la rete locale è stata elaborata con il BSW5.0, adottando in questo caso gli standard per rilievi statici su reti di piccola estensione;
3. nell'elaborazione della rete locale le stazioni ItalPos sono state vincolate alle loro coordinate IGS05;
4. per la validazione dei risultati sono stati considerati i classici indicatori statistici prodotti dal BSW5.0.

In tal modo si sono ottenute le stime delle coordinate IGS05 per i caposaldi IGM95 e si è così potuto procedere all'analisi della trasformazione fra i due sistemi di riferimento. La stima di una sola trasformazione di similarità alla scala nazionale evidenzia residui troppo elevati e spazialmente correlati; per ovviare a tale problema, si sono testati e valutati due approcci alternativi: il primo è stato condotto modellando la deformazione residua di IGM95 come un campo continuo, stimato mediante l'approccio della collocazione ai minimi quadrati; il secondo ha previsto la ripartizione del territorio nazionale in macroregioni ritenute omogenee, e quindi la stima di una trasformazione di similarità per ognuna di esse. Si noti che, da un punto di vista metodologico, la modellazione della trasformazione come campo continuo nello spazio è più soddisfacente rispetto alla stima di trasformazioni distinte e discontinue al loro bordo; però, dal punto di vista pratico, il secondo approccio è preferibile perché semplifica la distribuzione della trasformazione agli utenti dei servizi in tempo reale: in ogni caso nel presente lavoro vengono presentati entrambi i risultati.
I risultati qui presentati sono ritenuti preliminari, poiché la quantità di dati e il numero di caposaldi IGM95 coinvolti nel presente esperimento sono ancora abbastanza limitati: in ogni caso quanto ottenuto dimostra l'opportunità di passare da IGM95 a una nuova realizzazione di ETRS89, che dovrebbe essere materializzata mediante una rete permanente nazionale, continuamente monitorata in EPN. A tale riguardo si discute il caso di Rete Dinamica Nazionale, che è la nuova rete ufficiale dell'Istituto Geografico Militare e può rappresentare un primo passo verso la transizione ad una materializzazione permanente del sistema di riferimento nazionale: gli autori, che stanno collaborando con IGM nella compensazione di RDN, espongono qui lo stato di avanzamento dei lavori che li coinvolgono e le loro indicazioni per gli sviluppi futuri.
La versione completa del presente lavoro verrà proposta per la pubblicazione sulla rivista Journal of Applied Geomatics.

LA GEO-ICT PER LA PROTEZIONE CIVILE IN REGIONE ABRUZZO

Giovanni BIALLO, Vincenzo CONSORTI

ARIT - Agenzia Regionale per l'Informatica e la Telematica, Via Napoli 4 - 64019 Tortoreto Lido (TE),
tel. 0861- 77101, fax 0861- 7710212 degli Studi di Teramo, gbiallo@mondogis.net, vconsorti@gmail.com

Riassunto

La Geographical Information Communication Technology è alla base dei sistemi evoluti di gestione del territorio. La Regione Abruzzo, nell'ambito delle attività progettuali legate all'attività di Protezione Civile, ha implementato un sistema complesso che vede integrate diverse componenti tecnologiche e informatiche avanzate di Geo-ICT. Da un lato ha sviluppato sistemi informativi geografici e database aggiornati e strutturati secondo i più recenti standard nazionali e internazionali; dall'altro ha messo a punto applicazioni verticali di supporto alle attività di prevenzione, pianificazione e gestione delle emergenze; ed infine si è attrezzata con strumenti mobili necessari in caso di rilievi in campo e di interventi in emergenza. L'integrazione avviene attraverso la comunicazione fra le tre componenti, assicurata da collegamenti satellitari e sistemi autoalimentati in grado di funzionare in qualsiasi situazione, trasferendo dati e applicazioni dove è necessario e assicurando un elevato grado di interazione operativa fra le parti interessate. Sviluppati nell'ambito del Progetto Sigmater, i Servizi Informativi Integrati per la Gestione del Territorio sono suddivisi in tre componenti: 1) un database topografico regionale multiscala a standard IntesaGIS, ortofoto a colori, immagini multispettrali e DTM; 2) applicativi web-oriented e relativi database tematici per la gestione del: Piano di Assetto Idrogeologico, Inventario dei Fenomeni Franosi, Piano di Emergenza della Protezione Civile; 3) un veicolo motorhome semintegrale per il sistema informativo per l'emergenza dotato di sistema di comunicazione satellitare.

Abstract

Geographical Information & Communication Technology constitutes the basic element of the actual developed systems of the territory management. In range of project activities, involving the Civil Defense, the Abruzzi Region implemented a wide system, which integrates different and advanced technological and information Geo-ICT components. In this area the Public Administration of Regione Abruzzo has developed updated database and GIS structured according to the latest national and international standards; on the other hand it settled vertical applications needed to support prevention, planning and management of emergencies including arranged mobile instruments necessary in cases of emergencies intervention and surveys on-site. Integration takes place through the communication between the three components. It is guaranteed by the satellite communication and the self-powered systems able to work in any environmental situation. It transfers applications and data where needed ensuring a high level of integration among the interested technical components.

The Integrated Information Services about Territory Management, developed inside the Sigmater project, are composed of:

1. A regional topographical multiple scale database IntesaGIS standard, including colour orthophotographs; multispectrum images and DTM
2. Web oriented software and connected database for the management of the Water Conservation Plan, of the Hydrogeological Structure Plan, of the Flood Defense Plan, of the Public Hydrologic Work Register, of Civil Defense Emergencies, of Building and Infrastructural thematics of strategic value for Civil Defense
3. A motorhome with a satellite communication for Information System of emergencies

In the article the results of real application of the developed system are reported.

1. Introduzione

Nel settore della protezione civile le tecnologie per la comunicazione delle informazioni georiferite sono ormai ampiamente utilizzate. Le varie situazioni di emergenza che mettono continuamente in pericolo la popolazione e il territorio nel nostro paese hanno determinato leggi, regolamenti e normative che impongono l'uso di tecnologie avanzate sia per l'analisi e la prevenzione che per le attività di intervento.

La Regione Abruzzo, con il supporto dell'Agenzia Regionale per l'Informatica e la Telematica (ARIT) e il coinvolgimento di tutti gli uffici che potevano contribuire alla realizzazione di un sistema di supporto alle decisioni, ha messo a punto un insieme di strumenti, servizi e dati necessari a sostenere le attività di Protezione Civile. Alla base di tutto c'è la conoscenza del territorio: l'Ufficio per il Sistema Informativo Geografico con il supporto dell'ARIT ha aggiornato e trasformato la cartografia numerica regionale in un database geografico multiscala, secondo gli standard nazionali promossi dall'IntesaGIS, composto dal database topografico, dal modello digitale di elevazione, dalle ortofoto a colori, dalle foto aree dei vari voli, oltre che da una serie di dati tematici come l'uso del suolo, i vincoli, le aree incendiate, le aree esondabili, ecc.

Il geodatabase multiscala è disponibile in consultazione via web con varie viste dettate dalle esigenze specifiche di consultazione. Per le problematiche specifiche di controllo del territorio e delle pericolosità ambientali è stato messo a punto un sistema informativo di supporto alle decisioni, che contiene numerose informazioni tematiche specifiche oltre che i vari piani di valenza strategica per la Protezione Civile. Anche questo sistema è operativo via web con accesso riservato ai tecnici e decisori che operano su queste tematiche. A completare il supporto informatico e telematico è stato reso operativo un mezzo speciale, in grado di svolgere il ruolo di ufficio mobile, che è attrezzato per accedere via satellite, in qualsiasi luogo ed in modo completamente autonomo, ai dati ed ai servizi resi disponibili via rete dal CED della Regione, dagli uffici regionali della Protezione Civile ed eventualmente da altre sedi ed uffici anche nazionali. Il collegamento satellitare altamente tecnologico permette di trasmettere in ambedue i sensi grandi quantità di informazioni in tempo reale.

2. Il Database Geografico Multiscala

La realizzazione del database geografico multiscala è stata affidata tramite gara al Raggruppamento Temporaneo di Imprese composto dalle seguenti società: Rilter s.r.l., Telespazio S.p.A., Servizi di Informazione Territoriale SIT s.r.l., Assoservizi S.p.A.. La fornitura è in fase di realizzazione e verrà conclusa nei primi mesi del 2009.

Nel periodo estivo del 2007 è stato realizzato un volo con camera fotogrammetrica digitale DMC – Zeiss/Intergraph, finalizzato all'aggiornamento delle informazioni della Carta Tecnica Regionale Numerica CTRN in scala 1:5.000 (5k) già realizzata negli anni precedenti. Da questa cartografia numerica si sta generando e popolando un DataBase Territoriale Integrato (DBTI) multiscala (5k 1:5.000; 10k 1:10.000; 25k 1:25.000; Catasto) nel sistema di riferimento UTM-WGS84 (la CTRN precedentemente realizzata è nel sistema di riferimento nazionale Gauss Boaga).

Le attività di progetto sono state le seguenti: adeguamento CTRN 5k, inquadramento geometrico, prima fase di popolamento del DBTI, ripresa aerea fotogrammetrica digitale, rete planimetrica di inquadramento, raffittimento, appoggio, restituzione delle immagini, ricognizione/integrazione metrica, editing banca dati, seconda fase di popolamento del DBTI, sviluppo procedure automatiche 10k e 25k, generalizzazione e produzione DBT derivati, terza fase di popolamento del DBTI, sviluppo procedure automatiche di stampa nelle diverse scale.

L'aggiornamento ed il passaggio da carta tecnica numerica a geodatabase topologico ha comportato in primo luogo una serie di operazioni come ad esempio: completamento e codifica delle curve di livello nei tratti interrotti da altre informazioni; strutturazione topologica, quotatura (quota al piede ed altezza) e codifica delle dividenti architettoniche; derivazione e codifica del

grafo stradale, del grafo idrografico e del grafo ferroviario dai dati di rappresentazione topografica poligonale della viabilità, dell'idrografia e delle ferrovie; ecc.
Il DBTI multiscala, segue il modello logico definito dall'IntesaGIS per i DBT 5k e 10k (standard n.1007) e le specifiche concordate fra IntesaGIS e Istituto Geografico Militare per il DBT 25k. Il modello fisico è definito e strutturato in Oracle Spatial.
Queste scelte hanno quindi comportato una serie di operazioni di editing grafico, logico e topologico sui dati della CTRN per portarli ad un DBT 5k continuo e conforme al modello IntesaGIS. Il processo di definizione delle procedure di editing ha comportato una analisi comparata fra i modelli della CTRN 5k, IntesaGIS 2007, DBTI Sigmater nazionale, DBT Sigmater Abruzzo. A questa analisi ha fatto seguito la creazione della matrice di corrispondenza degli elementi, la definizione della struttura del DBT, l'analisi comparata del DBT con il Sintegreg (Sistema di Integrazione Regionale), l'elaborazione del software di supporto ed il rilascio del nuovo Sintegreg. Nel DBTI è inoltre compresa la componente catastale sia geografica che censuaria come previsto dal Sistema di Interscambio Sigmater, adottato anche dalla Regione Abruzzo nell'ambito del processo di riuso di componenti già sviluppate e manutenute da altre Regioni aderenti al Sigmater.
La parte innovativa del DBTI è data alla componente derivata dal DBT 5k, cioè il DBT 10k e 25k. Si sta procedendo con la realizzazione di procedure automatiche per lo sfoltimento e la ricostruzione secondo il modello logico definito da IntesaGIS e IGM per queste scale.
Il processo di derivazione è complesso ed articolato e tende a minimizzare i problemi topologici che possono intervenire al momento delle trasformazioni geometriche dei singoli oggetti geografici elaborati singolarmente con le procedure di generalizzazione. Ma tali oggetti sono quasi sempre a contatto con un insieme più complesso di elementi che insistono sulla stessa area geografica, il che aggiunge ulteriore complessità al processo di derivazione.
Il DBTI, oltre ai dati topografici multiscala, contiene altri dati quali: il modello digitale di elevazione, le ortofoto a colori, l'archivio delle foto digitali dei voli aerei, e molti altri dati tematici.
Il DataBase Territoriale Integrato multiscala, aggiornato sia nel contenuto che nella struttura logica e fisica alle normative attuali, garantisce la base di conoscenza del territorio regionale, unica e imprescindibile per qualsiasi applicazione, prima fra tutte per importanza strategica ed operativa quella di protezione civile. Il DBTI è disponibile via web in tutta la sua profondità tematica e di scala ed è interoperabile con qualsiasi applicazione anche esterna grazie all'applicazione degli standard dell'Open Geospatial Consortium (OGC).

3. I servizi web per la tutela e la difesa del territorio

In parallelo al progetto del DBTI la Regione ha deciso di acquisire un sistema in grado di applicare ai dati geografici resi disponibili via Web le linee guida del metodo Augustus della Protezione Civile, che definiscono e normalizzano tutto il workflow procedurale necessario per una pianificazione dell'emergenza, mettendo in relazione il DataBase Territoriale Integrato Regionale con tutti i dati ambientali necessari per evidenziare eventuali pericolosità, vulnerabilità e rischi.
Il progetto è stato affidato, al Raggruppamento Temporaneo di Imprese Sinergis s.r.l., Agic Consulting ed è gestito dall'ARIT in stretta collaborazione con gli Uffici Regionali e le applicazioni sono attualmente operative.
La soluzione software realizzata permette di gestire via Web il patrimonio dei dati dei Servizi di Difesa, Tutela del Suolo e di Protezione Civile, contenuti in un database centralizzato e interoperabile con il DBTI regionale.
Il sistema permette di pubblicare su Internet le banche dati del DBTI insieme con i dati tematici necessari e consente la consultazione e l'aggiornamento delle informazioni, che avviene con procedure automatiche o interattivamente via web. Il sistema si compone di alcune applicazioni web.

La prima permette di gestire il patrimonio dei dati dei **Servizi di Difesa per l'Assetto Idrogeologico**. L'obiettivo del servizio PAI (Piano di Assetto Idrogeologico) è la riduzione del rischio idrogeologico entro valori compatibili con gli usi del suolo in atto, in modo tale da salvaguardare l'incolumità delle persone e ridurre al minimo i danni ai beni esposti. L'applicazione consente via web di individuare e perimetrare le aree a rischio idrogeologico, di accedere ed aggiornare la banca dati centralizzata, e ovviamente di consultare, stampare, scaricare dati e allegati.
La seconda applicazione consente di gestire l'**Inventario Fenomeni Franosi (IFFI)**. La banca dati del Progetto IFFI è costituita da una cartografia informatizzata alla scala 1:25.000 e dal relativo database alfanumerico e iconografico contenente le informazioni sulle frane censite. Ogni fenomeno franoso è stato localizzato ed associato ad una serie di informazioni e parametri (es: indice di pericolosità idraulica, superficie frana, larghezza frana, ecc.).

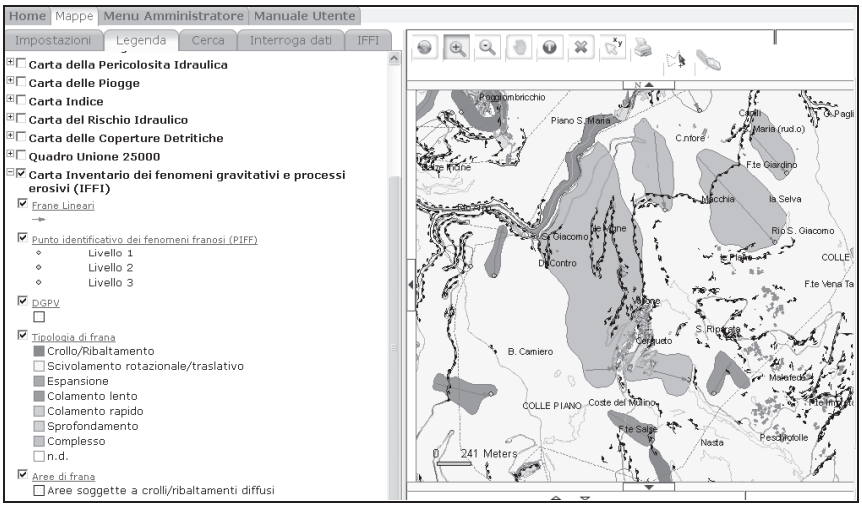


Figura 1 – Esempio di Inventario di Fenomeni franosi

La terza applicazione web consente di gestire il **Piano di Emergenza della Protezione Civile**, nel quale sono rappresentate geograficamente le indicazioni utili alla caratterizzazione dei possibili scenari di rischio. Il sistema si basa sulle linee guida del metodo Augustus, che mette a disposizione tutti gli strumenti giuridici a supporto delle analisi di previsione e prevenzione (programmi) e della conseguente pianificazione degli interventi di soccorso (piani). L'applicazione permette la gestione via web del patrimonio dei dati dei Servizi di Difesa, Tutela dell'Assetto Idrogeologico e di Protezione Civile, integrati con DBTI regionale. Consente di raccogliere e gestire tutti i dati relativi alle diverse ipotesi di rischio e alle aree di criticità del territorio, fornendo un utile strumento per le attività di previsione, di prevenzione, di coordinamento e gestione dell'emergenza.
Il cuore del sistema applicativo è costituito da un application Server Tomcat/Expresso/XWE (XML Web Engine), che realizza l'interfaccia utente e gestisce la comunicazione fra richieste degli utenti e le varie banche dati. I database puramente gestionali sono memorizzati nel database Server Oracle, mentre le banche dati geografiche tematiche sono registrate tramite la componente ArcSDE (ArcGIS Server Basic Enterprise), che fa da tramite fra i dati cartografici memorizzati in Oracle e gli applicativi ArcGIS che li gestiscono. La distribuzione di mappe via Web è resa possibile grazie alla componente MapServer ArcIMS. Tutte le banche dati tematiche sono georeferenziate, completamente compatibili ed interoperabili con il DBTI regionale.

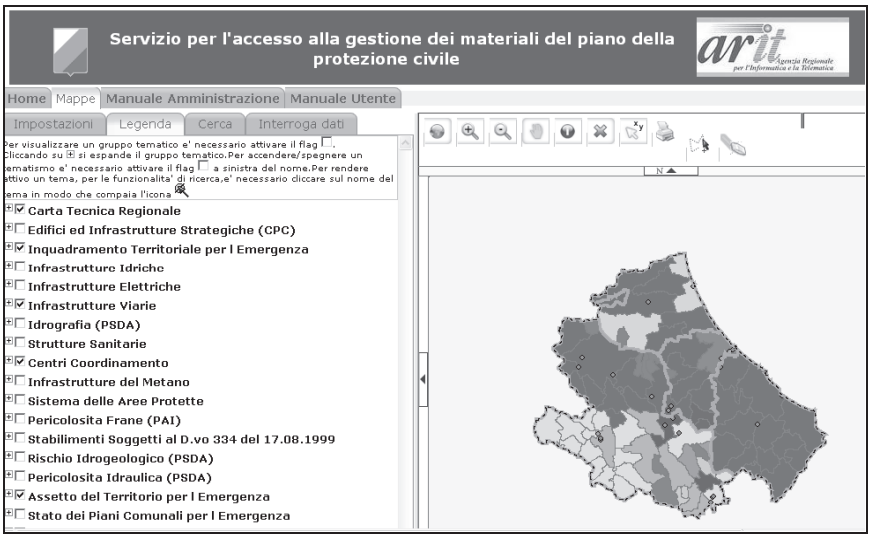


Figura 2 – Esempio di visualizzazione di una mappa tematica d'insieme

Il sistema consente la consultazione e modifica delle banche dati in base a dei profili utente predefiniti ed in base al Comune o Provincia di appartenenza. La suddivisione delle schede in Comunali e Provinciali segue la codifica del metodo Augustus.
Il censimento e lo scambio dati da parte dei diversi enti consente di far dialogare costantemente in maniera non gerarchica tutti gli enti partecipanti alla pianificazione dell'emergenza e costituisce un supporto utile alla Protezione Civile regionale e nazionale, fornendo tutte le informazioni territoriali necessarie per poter intervenire ed operare nel territorio della Regione Abruzzo.

4. Il sistema mobile motorhome

In L'accessibilità ai dati durante le fasi operative sul territorio è essenziale per la maggior parte degli interventi sia di prevenzione che di post-evento. Per questo motivo la Regione Abruzzo ha deciso di dotarsi di un mezzo mobile, tecnologicamente attrezzato, in grado di trasmettere e ricevere dati via satellite e di comunicare con le centrali operative, con il CED regionale e con gli uffici/amministrazioni preposti alle azioni di Protezione Civile. La fornitura è stata affidata dall'ARIT alla Telespazio S.p.A. ed è coordinata dalla stessa Agenzia e dall'Ufficio per il Sistema Informativo Geografico della Regione. Il mezzo è in consegna per l'autunno 2008.
Il sistema mobile è realizzato su un telaio IVECO DAILY 50C15, ed è contraddistinto da un elevato contenuto tecnologico. La cabina furgonata è raccordata alla cellula mediante una serie di profili stampati. Il risultato finale è un veicolo dal look estetico filante in grado di offrire un notevole risultato aerodimanico. I sistemi a bordo consentiranno una connessione via satellite con la Sala Operativa della Protezione Civile e con la sede del Centro Servizi SigmaTer. Tale connessione è realizzata tramite un servizio Internet "always on" in tecnologia Fullsat Italia.
Le tecnologie installate a bordo di questo veicolo consente di poter operare in ogni circostanza, sia con energia di rete elettrica esterna che in completa autonomia in quanto, il mezzo è dotato di sistema di generazione elettrica ausiliario ridondato per mezzo di tre gruppi elettrogeni da 3KW idonei a garantire l'alimentazione necessaria a tutti gli impianti di bordo.
Il veicolo è dotato di un'antenna satellitare montata sul tetto di 1,5 metri di diametro. Il tetto, per garantire il perfetto puntamento dell'antenna, è opportunamente rinforzato.
La cellula del veicolo è costruita con materiali scelti e trattati in modo da garantire la massima inalterabilità nel tempo anche in condizioni ambientali relativamente gravose.

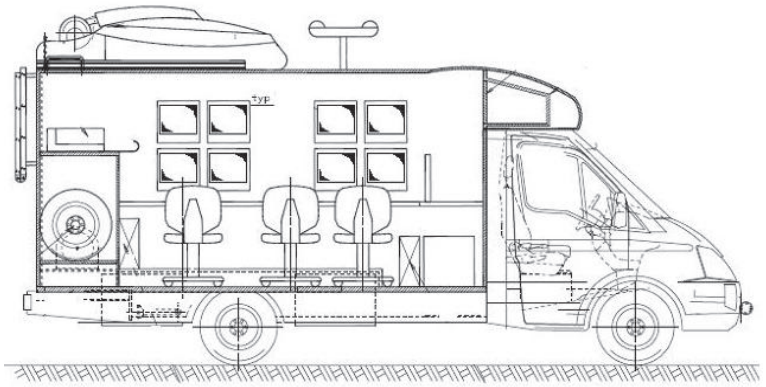


Figura 3 – Sezione trasversale del mezzo mobile

Il sistema mobile è costituito da quattro parti principali: antenna e amplificatore outdoor, antenna satellite controller e beacon receiver, sensori per auto-puntamento, veicolo con gruppi di autonomia. Il sistema permette, in qualsiasi condizione e in qualsiasi luogo, il puntamento al satellite e la trasmissione dei dati. L'antenna con il sistema di amplificazione/conversione garantisce la potenza adeguata al segnale da trasmettere. L'auto-puntamento avviene tramite dei sensori di rilevamento (doppio GPS) che ne garantiscono l'individuazione del Nord. E' possibile utilizzare il sistema anche quando il nord non viene rilevato. E' stato inoltre predisposto un'unità UPS che garantisce autonomia agli apparati "vitali" ed all'antenna, anche in assenza di alimentazione elettrica.
L'allestimento interno è composto da un piano di lavoro di 280 x 60 centimetri su cui sono posizionate due workstation grafiche ed i relativi monitor LCD da 19" (la parete sopra il piano può ospitare fino a otto monitor LCD da 19"). Altri due piani di 70 x 60 centimetri consentono il posizionamento di altre due personal computer e dei relativi monitor LCD da 17". Un piano di appoggio consente di alloggiare due stampanti ink jet dotate di rullo. Completano l'allestimento tre sedili con ruote bloccabili, due sedili ribaltabili e un tavolino. In un angolo è posizionato il rack dove sono alloggiati tutti gli apparati di puntamento, di tracking, ricezione/trasmissione, ecc. Nell'altro angolo è situato un vano armadio di servizio. Il mezzo è dotato di aria condizionata, navigatore satellitare, sedili anteriori ruotabili, verricello, scaletta esterna per accesso al tetto, ed un treno aggiuntivo di ruote da neve.

5. Conclusioni

L'insieme delle tecnologie finora illustrate sono il primo nucleo interoperabile di strumenti messi a disposizione della Protezione Civile. Dovranno essere aggiornate e integrate anche altre tecnologie già acquisite in passato dalla Regione come ad esempio un motorhome dotato al suo interno di tecnologie informatiche ma non di strumenti per il collegamento satellitare. Dovranno anche essere sviluppate nuove applicazioni (es: gestione dei piani di bacino) ed acquisiti nuovi dati descrittivi (es: schede Augustus) e territoriali (es: dati telerilevati delle zone colpite da catastrofi naturali). Tutto questo, visto nella sua forma di totale integrazione ed interoperabilità, andrà ad arricchire il patrimonio di tecnologie messe a disposizione della Protezione Civile regionale.

SISTEMI INFORMATIVI PER LA VIGILANZA AMBIENTALE E LA GESTIONE DEL TERRITORIO IN REGIONE MOLISE

Giovanni BIALLO (*), Alessandro CASERIO (**), Vincenzo CONSORTI (***),
Fernando DE BENEDETTO (****), Manuela FERRI (*****),
Giovan Battista ANDREANI (******)

(*) Molise Dati S.p.A., via Insorti d'Ungheria, 81, 86100 – CAMPOBASSO, tel. 08746191, fax 0874619615, g.biallo@mondogis.net
(**) Molise Dati S.p.A., via Insorti d'Ungheria, 81, 86100 – CAMPOBASSO, tel. 08746191, fax 0874619615, a.caserio@mondogis.net
(***) Università degli Studi di Teramo, viale Crucioli, 122, 64100 – TERAMO, tel. 0861266231, vconsorti@unite.it
(****) Molise Dati S.p.A., via Insorti d'Ungheria, 81, 86100 – CAMPOBASSO, tel. 08746191, fax 0874619615, f.debenedetto@molisedati.it
(*****) Telespazio S.p.A., via Tiburtina, 965, 00156 – ROMA, tel. 0640796377, fax 0640999377, manuela.ferri@telespazio.com
(******) Geosystems S.r.l., via Atto Vannucci, 7, 50134 – FIRENZE, tel. 0664627323, fax 0554625241, g.andreani@geosystems.it

Introduzione

I Sistemi informativi per la vigilanza ambientale e la gestione del territorio si collocano all'interno di un processo di riforma della pubblica amministrazione regionale con l'obiettivo da un lato di monitorare il complesso panorama delle emergenze ambientali della Regione, e dall'altro dall'esigenza di portare i servizi verso il cittadino, gli enti locali e le imprese attraverso l'innovazione dei canali di interazione.

Tale intervento si colloca all'interno del quadro di progetti nel settore ICT costituenti l'Accordo di Programma Quadro (APQ), stipulato tra Regione Molise, MEF, MIT e CNIPA, nel quale la Regione Molise ha sistematizzato gli indirizzi strategici presenti nel Piano Strategico di Attuazione del Sistema Telematico Molise.

Nel piano STM e successivamente APQ, la Regione Molise ha avviato il processo per lo sviluppo della società dell'Informazione adottando una strategia attuativa in cui un insieme variegato di interventi nel settore ICT, da quelli di natura più infrastrutturale (connettività di rete, centri elaborativi…) a quelli di carattere applicativo e di servizio (portale, servizi alle imprese ed ai cittadini, sistema di vigilanza ambientale, servizi per la gestione del territorio) compongono un quadro organico grazie alla condivisione di alcune fondamentali linee guida di progettazione e realizzazione.

In particolare il progetto SVA (Sistema di Vigilanza Ambientale) si configura come un sistema di interconnessione delle informazioni e dei dati ambientali a livello regionale e interregionale e di integrazione ed elaborazione di tali informazioni ai fini della pianificazione territoriale e della gestione ambientale. E' caratterizzato da un polo infrastrutturale che ha come obiettivo primario il monitoraggio degli eventi generatori di depapeuramento e degrado ambientale, in modo da porre in essere tutti gli interventi utili a prevenire danni irreversibili. Il modello dei servizi a tendere sarà rappresentato pertanto da un'architettura capace di combinare i fattori topologici e territoriali (le informazioni georeferenziate) con le esigenze di cooperazione applicativa e scambio di dati, di comunicazione integrata multicanale e di organizzazione dei processi.

I principali obiettivi del progetto sono: l'attivazione di un centro servizi dedicato alle attività ed alle applicazioni per la vigilanza dei fattori critici; la realizzazione di un sistema di vigilanza e monitoraggio complessivo dei fattori di rischio ambientale sul territorio regionale, in grado di

pubblicare e comunicare le informazioni attraverso il PIM (tramite il Portale Verticale Ambientale); la realizzazione di un Sistema di Supporto alle Decisioni, basato sull'uso dei dati territoriali e sulle tecniche di analisi multicriterio.
Il progetto SIIT (Servizi Informativi Integrati per il Territorio) invece rappresenta per la Regione Molise il primo nucleo di un'infrastruttura territoriale in grado di definire un modello unitario e generale del territorio. Si prevede l'attivazione di servizi informativi territoriali integrati a supporto di una vasta serie di tematiche (decentramento delle funzioni catastali, supporto alla fiscalità locale, pianificazione urbanistica, assetto e difesa del suolo, sistema viario e reti infrastrutturali, tutela delle risorse ambientali, valorizzazione e promozione delle risorse ambientali, naturali e paesaggistiche) in modo da realizzare sul territorio una maggiore copertura territoriale della diffusione di servizi e-government.
La realizzazione del progetto consentirà ai cittadini ed alle imprese, di accedere a tutte le informazioni legate all'ambiente ed al territorio in maniera telematica; alla Pubblica Amministrazione di facilitare l'automazione dei processi legati ai servizi per il territorio; alla Regione Molise di partecipare pienamente ai programmi comunitari e nazionali.
I principali obiettivi del progetto sono: sviluppare un'infrastruttura dati uniforme e coerente, correlata a servizi territoriali integrati con i procedimenti amministrativi su tematiche correlate al sistema d'Impresa nella Regione Molise un'ampia gamma di tematiche; estendere i servizi di cooperazione e di interscambio catastali a livello regionale ed ampliare la gamma di servizi e di strati informativi (es. strade, demanio, ambiente, agricoltura, turismo…).

L'architettura del sistema unificato

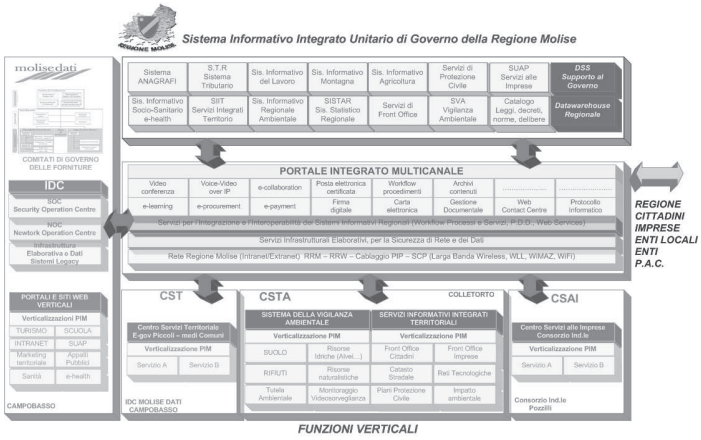


Figura. 1 L'architettura del Sistema Infomativo Integrato Unitario di Governo della Regione Molise

Il framework infrastrutturale entro il quale si collocano i Progetti SIIT e SVA è contestualizzato nella immagine di *Fig.1*, riportata in alto. Il Centro Servizi a supporto delle funzioni del SIIT e dello SVA rappresenta la risposta all'esigenza di realizzare un sistema tecnologico completo, efficiente e fruibile dell'attività di erogazione di servizi agli Utenti degli Uffici Tecnici, perfettamente integrato a livello architetturale con gli asset ICT già presenti e in corso di realizzazione.
I requisiti progettuali per la realizzazione risultano così:

- l'integrazione e correlazione dei progetti con le Reti esistenti (RRM-RRW), il Portale Integrato Multicanale PIM, l'infrastruttura di elaborazione e i motori DBMS presenti nell'IDC;
- la completa integrabilità della piattaforma tecnologica comune ai due progetti con i sistemi informativi regionali esistenti (Client Server, Web e Legacy) e l'interoperabilità e la sinergia con quest'ultimi.

L'infrastruttura preesistente è basata fondamentalmente su un portale regionale (il Portale Integrato Multicanale) che fornisce i servizi di interfaccia alle applicazioni già sviluppate, una serie di servizi accessori (sicurezza, gestione, monitoraggio, ecc.) e su una disponibilità di un DB condiviso.

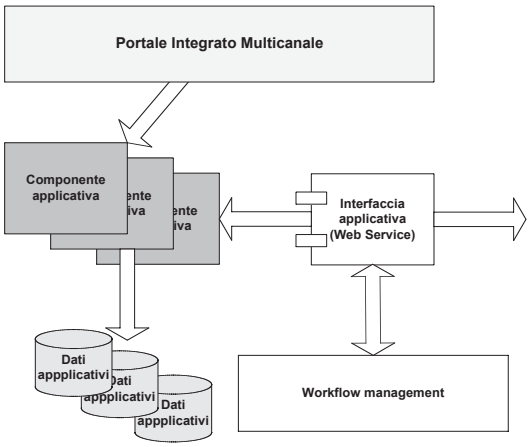


Figura 2 Architettura del PIM e Verticalizzazione dei servizi

Le nuove componenti applicative vengono esposte verso l'esterno in due modalità:

- *Interfaccia applicativa*: in questo caso queste componenti potranno essere invocate da una applicazione fruitrice (consumer) di front end all'interno del portale che ne fornirà l'interfaccia verso l'utente finale;
- *Interfaccia utente*: se per diverse ragioni, quali ad esempio l'utilizzo di pacchetti commerciali chiusi, non fosse possibile esporre un servizio applicativo, l'integrazione potrà avvenire a livello di portale sulla pura interfaccia utente di accesso all'applicazione.

L'infrastruttura applicativa, sfruttando le sinergie fra i vari progetti in fase di sviluppo (SIIT, SVA, ICS e PIM) permette di usufruire per i vari componenti logici criteri di:

- *Alta affidabilità*: in quanto i componenti lavorano in contemporanea permettendo l'implementazione di un cluster attivo/attivo sul servizio attraverso funzionalità di Load Balancing.
- *Alta disponibilità*: in quanto se un componente fisico non è disponibile, il componente logico continua ad erogare il servizio in maniera trasparente all'utente.

La *Fig. 3* mostra i componenti logici raggruppati per Network e il cluster adottato per l'implementazione dei criteri definiti.

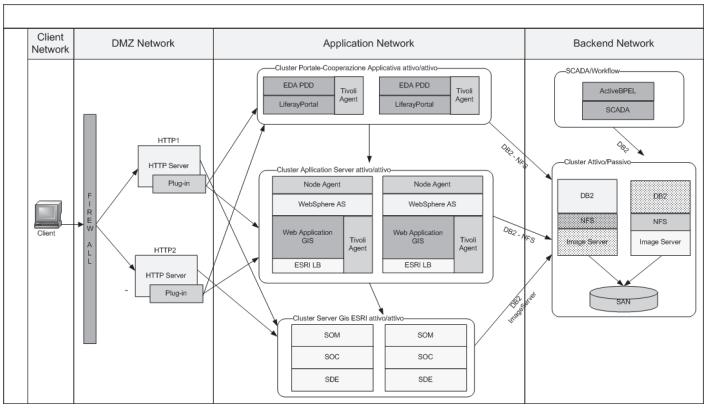


Figura. 3. Architettura Applicativa

Dato il carico dei servizi GIS, si è ritenuto opportuno dedicare a questi, completamente, gli application server, mentre la parte di portale informativo è stata spostata insieme alla cooperazione applicativa.

I componenti SCADA e workflow sono stati aggregati in un unico modulo per migliorare la comunicazione.

I servizi generali

Le funzionalità GIS previste dai due sistemi sono essenzialmente fornite secondo due modalità:

- con interfaccia utente,
- come servizi infrastrutturali, richiamabili da applicazioni esterne.

Rientrano nel primo caso tutta una serie di applicazioni verticali Web GIS che condividono una impostazione (frame work) generale dell'interfaccia utente e che si specializzano in base ai diversi campi di applicazione. Tale framework generale mette a disposizione, in modo omogeneo, una serie di funzioni orizzontali di gestione della cartografia e di interfacce software che vengono fornite, mutatis-mutandis, a tutte le applicazioni previste; ha inoltre la funzione di raccoglitore delle interfacce utente da cui si scatenano le varie attività specialistiche previste da ciascuna applicazione verticale. La realizzazione di tale frame work, basato sull'ArcGIS Server ADF (Application Developer Framework) Java in tecnologia J2EE e standard JSF (Java Server Faces), ha consentito inoltre la definizione delle tecnologie e dell'architettura tecnologica su cui basare tutti gli sviluppi previsti, garantendo così una base comune su cui estendere anche successivamente il parco delle applicazioni verticali.
Le funzioni comuni previste dal frame work sono riunite nelle seguenti macrocategorie:

- *Controllo degli accessi* - riunisce le funzioni di verifica delle credenziali di accesso dell'utente e gestione delle capacità associate al profilo applicativo di appartenenza;
- *Visualizzazione/Navigazione* - riunisce le funzioni di gestione del display cartografico, sia dal punto di vista della composizione in termini di temi (acceso/spento, definizione resa grafica) che di definizione della zona visualizzata (zoom in/out, pan, ecc). Comprende inoltre tutte le funzioni di gestione della finestra di overview in cui è visualizzata l'area complessiva a disposizione dell'utente;
- *Consultazione* - riunisce le funzioni di consultazione di dati alfanumerici associati agli elementi geografici selezionati interattivamente. In particolare mette a disposizione funzioni per effettuare ricerche basate sugli attributi alfanumerici o su condizioni spaziali e per consultare le caratteristiche degli elementi così selezionati e di quelli a loro

logicamente correlati. In questo modo l'utente potrà indagare il contenuto del database evidenziando la struttura informativa presente in banca dati, traendo le massime informazioni dal sistema nel modo più intuitivo possibile. Mette inoltre a disposizione strumenti per effettuare misurazioni lineari o areali;

- *Stampa* – riunisce le funzioni di stampa su layout predefiniti (dimensioni, titoli, cornici, inquadramento della carta, sistema di proiezione, scala metrica, legenda, loghi e riferimenti standard, elementi accessori) delle informazioni selezionate dall'utente;

- *Posizionamento* - Rientrano in questa sezione le funzionalità che consentono di ricercare automaticamente, scegliendolo da una lista in base alla sua descrizione o altri parametri significativi, un determinato elemento geografico e di visualizzare l'area del suo intorno.

Le applicazioni disponibili in modalità "interfaccia utente" sono:

- *Lavori stradali* - fornisce funzioni web di popolamento della banca dati dei lavori stradali, in corso ed effettuati, e di consultazione della loro distribuzione e stato;
- *Reti tecnologiche* - applicativo sviluppato per gli operatori di back office dei comuni e degli enti pubblici della Regione Molise che fornisce le funzionalità per monitorare lo sviluppo geografico delle reti e degli interventi di manutenzione programmata o straordinaria che su di esse vengono realizzate;
- *Piani di protezione ambientale e civile*: applicativo di supporto per il personale esperto di rischio in grado di supportare le attività di programmazione. Questo, attraverso l'integrazione delle mappe tematiche di riferimento con i dati provenienti dal sistema di vigilanza ambientale (output provenienti dal sistema di supporto alle decisioni o DSS e dalle reti di monitoraggio).
- *Impatto ambientale*: strumento di supporto, per gli enti regionali responsabili delle procedure di VIA, alla fase di "determinazione del quadro informativo e analisi preliminare ai fini dello scoping" così come descritto nelle "Linee Guida VIA" pubblicate dal Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio.

I servizi del Sistema di Vigilanza Ambientale

Il Sistema di Vigilanza Ambientale in corso di realizzazione presso la Regione Molise, si propone come strumento di conoscenza, analisi e modellazione riguardo ai principali rischi ambientali a cui il territorio regionale risulta esposto.
Lo scopo è dunque quello di supportare le Amministrazioni preposte nella gestione delle operatività e delle problematiche legate ai medesimi rischi.
Data la peculiare situazione geologica del territorio molisano, il progetto pone un particolare accento sul fenomeno delle frane.
Il Molise è infatti una delle regioni italiane con la più alta densità di fenomeni franosi. Dallo studio effettuato per il Progetto IFFI (Rosskopf e Aucelli, 2007) si ricava che dei 4.438 km^2 su cui si estende il territorio regionale, quasi 500 sono in frana. I fenomeni franosi censiti sono circa 22.500, la maggior parte dei quali si estende su una superficie superiore ai 10.000 m^2.

A questa analisi si affiancano poi quelle relative al rischio di incendi boschivi, all'erosione costiera, al rischio da inquinamento industriale, da ondate di calore, da esondazione, da scarichi illegali, ecc.

Il Sistema si avvale dei seguenti componenti peculiari:

- una rete di monitoraggio dei movimenti franosi composta da cinque stazioni installate su un corpo frana individuato in località Trivento (CB). La scelta del sito è stata preceduta da uno

studio accurato del quadro geologico della regione e della bibliografia esistente e da idonei sopralluoghi che permettessero di isolare le aree con le caratteristiche più idonee al monitoraggio;
- una rete composta da quattro stazioni di reference GPS utilizzate sia in funzione del riferimento delle misure GPS delle centraline di monitoraggio che come rete regionale per supporto alle attività topografiche;
- un sistema di monitoraggio e controllo remoto dei principali parametri di funzionamento della rete di monitoraggio e di ricezione dei segnali GPS e dei dati degli strumenti con acquisizione in continuo;
- un Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS) in grado di interpretare ed elaborare dati relativi ai rischi ambientali considerati attraverso analisi multi criterio effettuate con l'ausilio di strumenti GIS e di produrre scenari di rischio che possano supportare le Amministrazioni competenti nei processi decisionali relativi alla pianificazione e alla gestione del territorio regionale.

Il DSS previsto nell'ambito dello SVA è costituito da cinque applicativi che espongono servizi cartografici OGC compliant che possono essere letti dagli applicativi messi a disposizione da SIIT e SVA. Apposite procedure consentono inoltre di inserire su richiesta i dati prodotti dalle simulazioni entro il DB cartografico generale dei progetti. Gli applicativi del DSS consentono all'utente di profilo culturale medio (non specialista) di acquisire informazioni sotto forma di mappe e di risultati alfanumerici. (*Figg. 5,6)*
Gli output del DSS consentiranno agli Enti preposti alla gestione del territorio di usufruire di scenari di rischio elaborati sulla base di dati aggiornati. E' evidente il beneficio che questo strumento apporterà ai processi decisionali della Pubblica Amministrazione, specialmente nelle fasi di pianificazione dell'utilizzo del territorio (pianificazioni urbanistiche e territoriali, soprattutto a livello regionale) e di gestione delle risorse destinate al fronteggiamento delle emergenze (dislocazione delle risorse di Protezione Civile, attribuzione di priorità nella destinazione di investimenti pubblici rivolti alla prevenzione dei rischi ambientali, ecc.)

Ciascuna delle cinque tipologie di rischio considerate è stata analizzata separando la componente pericolosità da quella relativa agli elementi esposti.
La base di lavoro, per tutte le tipologie, è rappresentata dal *set* dei dati di base disponibili nel Database univoco regionale sotto forma di tabelle, grafici, mappe cartacee o digitali. Su di essi vengono operate numerose elaborazioni finalizzate sia alla descrizione dei diversi parametri intrinseci nel fenomeno sia alla verifica dei risultati con i criteri della *back-analysis*. Nella sostanza i dati di *input* consentono l'elaborazione di mappe derivate (i cui criteri vengono ampiamente descritti per consentire eventuali future rielaborazioni dei dati) che rappresentano un primo elemento a disposizione dell'utente che può così "scomporre" ciascun fenomeno analizzandone la distribuzione spaziale e la sua relazione con le altre componenti.
Le possibilità di interrogazione da parte dell'utente sono limitate agli elementi ritenuti significativi ai fini della specifica problematica (pericolosità oppure elemento esposto), ma viene lasciata ampia possibilità di rielaborazione dei dati secondo schemi e procedure differenti, al fine di ampliare le potenzialità del Sistema.
La figura seguente schematizza il flusso operativo del DSS.

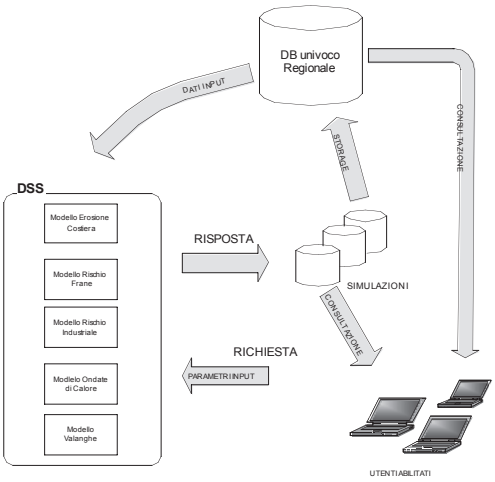


Figura 4 Il flusso operativo del DSS

Di seguito vengono esposti i criteri metodologici adottati per ciascuna delle cinque tipologie di rischio esaminate ed gli output individuati per ognuno dei modelli.

Rischio da erosione costiera

La costa molisana è relativamente poco estesa in lunghezza. Ciononostante, la presenza degli sbocchi in mare di alcuni importanti fiumi (Trigno e Biferno) e di alcuni corsi d'acqua minori (Mergolo, Sinarca, Sinello, etc.) ha contribuito alla modificazione della configurazione della linea di costa anche in relazione con gli interventi antropici realizzati perpendicolarmente o parallelamente ad essa. Il modello contiene la geometria della linea di costa rilevata sulla base di documentazioni satellitari/fotografiche/cartografiche in alcuni periodi specifici. L'elaborazione dei dati consente di "derivare" la geometria della linea di costa nell'anno X (compreso tra il primo anno di rilevazione e l'ultimo). E' possibile, inoltre, conoscere il tasso di arretramento/avanzamento della linea di costa nell'intervallo di tempo. Parallelamente viene proposta la consistenza degli elementi esposti in tre epoche storiche definite all'interno dell'intervallo temporale di osservazione.

Output

- Configurazione della linea di costa in differenti periodi storici (capisaldi) ed analisi delle variazioni;
- Analisi statistica del tasso di arretramento/avanzamento;
- Definizione degli elementi antropici sensibili/vulnerabili alla variazione della linea di costa.

Rischio frane

Il rischio da frana è, insieme con quello sismico, il maggiore problema per la pianificazione territoriale e la gestione delle emergenze nella Regione Molise. Tali eventi spesso rappresentano un vero e proprio problema sociale ed economico in quanto interessano elementi antropici di particolare importanza (edifici, vie di comunicazione, *lifelines*, etc.) determinando danni anche consistenti e difficilmente riparabili.
L'applicativo dedicato al problema della franosità è senza dubbio il più complesso tra quelli previsti nell'ambito del progetto SVA.
Il modello di analisi parte dall'analisi statistica dei dati di base mediante una loro spazializzazione. Tali analisi consentono da un lato di definire l'indice di frana per ciascuno dei fattori considerati,

dall'altro di verificare l'eventuale influenza delle piogge sui fattori predisponenti. Costituisce elemento di riferimento l'inventario dei fenomeni franosi redatto nell'ambito del progetto IFFI (Inventario Fenomeni Franosi Italiani).
L'analisi spaziale di tutti i dati mediante GIS consente un duplice risultato: la ricostruzione di una cartografia della suscettività, che contiene l'integrazione delle diverse caratteristiche rilevate, ed una serie di matrici di analisi (in formato *raster* – grid) che possono essere successivamente utilizzate dall'utente del DSS per proprie valutazioni e/o per analisi più articolate.
L'analisi degli elementi esposti, che si materializza in una selezione di tutti gli elementi ritenuti passibili di coinvolgimento da parte dei fenomeni franosi selezionati, parte dall'elaborazione dei dati relativi ai servizi a rete, alle strutture antropiche (*s.l.*), alla popolazione, alle vie di comunicazione, ai siti ed agli elementi di particolare interesse ambientale oppure storico-culturale.

Output

- Carte tematiche (pendenza, esposizione);
- Distribuzione spaziale dei fattori influenti sulla stabilità/instabilità dei versanti;
- Carta della suscettibilità a franare;
- Carta degli elementi sensibili;
- Carta degli elementi esposti e scenari di rischio.

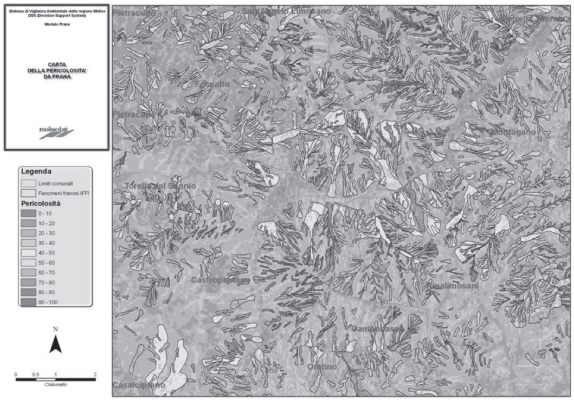


Figura 5 Esempio di carta della pericolosità da frana

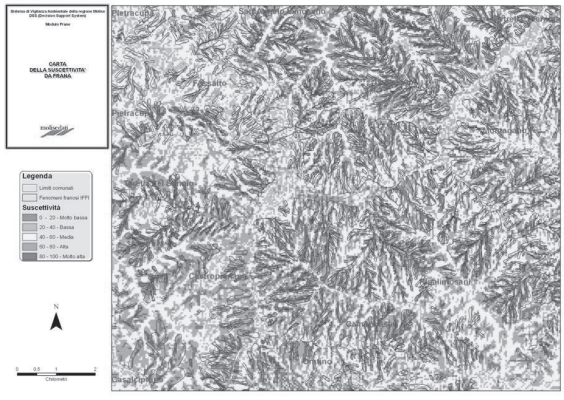


Figura 6 Esempio di carta della suscettività da frana

Rischio industriale

Il Molise presenta diverse aree industriali ed alcuni stabilimenti di una certa importanza dal punto di vista delle tipologie di incidenti che potrebbero provocare per via dei prodotti trattati, tali da classificarli a Rischio d'Incidente Rilevante (RIR) ai sensi del D.Lgs. 334/1999. Per tali impianti sono predisposti i Piani di Emergenza Interna (PEI), opportunamente studiati sulla base del contesto territoriale ospitante e delle sue caratteristiche intrinseche, mentre i PEE (Piani di Emergenza Esterna) vengono redatti dall'Autorità Preposta (AP), generalmente nella persona del Prefetto.
Sia il PEI che il PEE rappresentano i documenti di riferimento nei riguardi del rischio che, pertanto, viene definito direttamente dal gestore.
Ma oltre a queste tipologie di industrie ci sono diversi altri stabilimenti che possono emettere sostanze nell'aria, versare sostanze inquinanti in corsi d'acqua o avere problemi di smaltimento di rifiuti tossici o dannosi.
Sulla base di tale premessa appare evidente che il modello del Sistema di Supporto alle Decisioni specifico deve necessariamente contenere gli elementi analitici sugli impianti pur con qualche valutazione specifica riguardante, ad esempio, la distanza dell'impianto dagli insediamenti urbani, dalle strutture di soccorso, e la presenza di elementi sensibili antropici (ospedali, caserme, chiese, etc.) e naturali (riserve e parchi) all'interno degli areali di pericolosità.

Output

- Localizzazione geografica degli impianti;
- Localizzazione geografica degli scarichi e delle emissioni in atmosfera;
- Descrizione cartografica dei possibili scenari per gli impianti considerati;
- Individuazione dei possibili areali di danno per ciascuno degli scenari incidentali, intesi come areali connessi alle possibili tipologie incidentali di un dato stabilimento e individuati sulla base di valori di soglia fissati dalla normativa, oltre i quali si manifestano determinati effetti,

Rischio ondate di caldo

L'analisi del rischio parte dall'elaborazione dei dati di temperatura relativi all'ultimo secolo ed alla redazione di carte isoterme nelle quali il fattore morfologico incide nella definizione delle isolinee di temperatura. La temperatura viene analizzata sia all'interno del ciclo annuale, sia all'interno del ciclo estivo. Oltre alla descrizione del trend secolare e delle variazioni cicliche e stagionali, pertanto, vengono definite, per ciascuna cella, le caratteristiche di temperatura media, minima e massima (e quindi l'intervallo di oscillazione) che potranno essere oggetto di interrogazione da parte dell'utente. Laddove presente, il parametro umidità relativa viene considerato nella stima dell'indice di calore (*Heat Index*) e, combinato con altri parametri, della THSW (temperatura percepita, come funzione della temperatura, dell'umidità, della radiazione solare e del vento).
Anche in questo caso, come nei precedenti, viene lasciato ampio spazio agli elementi esposti al fenomeno che consentono interrogazioni al Sistema, anche complesse, riguardo alla frazione di popolazione coinvolta dalle anomalie meteo.

Output

- Definizione dei parametri statistici di riferimento circa gli elementi climatici di interesse;
- Analisi delle serie storiche;
- Costruzione delle carte delle isoterme a diversa scala temporale (mensile, stagionale e annuale) in funzione dei parametri statistici di riferimento.

Rischio valanghe

Il Molise è una regione prevalentemente collinare su cui le precipitazioni meteoriche hanno spesso carattere nevoso nel semestre autunno-inverno.

Le valanghe si originano per effetto di una complessa combinazione di fattori morfologici, di esposizione del versante, di spessore di manto nevoso, di apporto di neve fresca e di caratteristiche meteorologiche (vento, temperatura).
Il modello del DSS specifico, pertanto, parte dall'analisi statistica dei dati climatici e morfologici (pendenze, esposizioni, concavo-convessità del profilo longitudinale e trasversale del versante, etc.) per attribuire ai diversi elementi pesi e punteggi valutati sulla base di un giudizio esperto. Anche in questo caso, come per il rischio da frana, la frequenza di accadimento degli eventi valanghivi e la distribuzione sul territorio consente di "tarare" il modello e di ridefinire i parametri di calcolo.
L'utente può conoscere, sulla base dei dati di input previsti dal sistema (ad esempio temperatura, vento e spessore della neve fresca sul manto esistente), quali versanti possono determinare rilasci di massa nevosa (valanghe) e quali elementi antropici possono essere coinvolti dal fenomeno.

Output

- Carte tematiche (pendenza, esposizione dei versanti, energia del rilievo, etc.)
- Carte climatiche;
- Definizione del rischio da valanga in aree storicamente soggette a tali fenomeni;
- Valutazione del rischio in aree potenzialmente suscettibili sulla base di un'analisi multiparametrica (cfr. dati di *input*).

I Servizi Informativi Integrati per il territorio

Il SIIT ha tra i suoi obiettivi quello di fornire una serie di funzionalità di base che consentano ai Comuni di erogare servizi tematici, lasciando liberi i singoli Enti di organizzarsi riguardo alle modalità di erogazione del servizio (call center, sportelli aperti sul territorio, ecc). Tali funzionalità, tra loro coordinate e cooperanti, faranno accesso al DBTI unitario per ricavare i dati necessari sia alla visualizzazione di cartografia che alla elaborazione di dati per fornire i risultati richiesti.
Tutto il sistema previsto per la fornitura dei servizi tematici è Web-based ed è costituito da una serie di funzioni software che interagiscono entro un contenitore di base (framework); tale contenitore è organizzato in modo da poter accogliere nel tempo nuove implementazioni software, così da rendere il progetto estensibile con nuove funzionalità.
Vorremmo qui sottolineare che la soluzione proposta porta alla realizzazione di un vero e proprio cruscotto informativo da cui l'Ente potrà tenere sotto controllo le svariate sfaccettature del territorio amministrato mettendosi in condizione di fornire a cittadini (e imprese) risposte rapide e sempre aggiornate. L'accesso alle varie funzionalità avverrà in modo controllato, per far sì che l'esposizione su una rete pubblica quale Internet non diventi ragione di accessi da parte di personale non abilitato e quindi fonte di disallineamenti della banca dati generale e pubblicazione di informazioni riservate.

Tra i servizi informativi messi a disposizione citiamo:
Ricerca, consultazione, esportazione ed importazione metadati e/o cartografia relativa - il servizio proposto consente la consultazione dei metadati, memorizzati nel DBTI secondo le specifiche ISO 19115 e CNIPA seguendo le specifiche della direttiva Europea INSPIRE, e la selezione di temi cartografici o intere mappe impostando interattivamente criteri di ricerca sui metadati. I metadati possono essere consultati in maniera estesa o solo per il "Core purpose" e possono essere importati od esportati secondo alcuni profili definiti a livello italiano.
Una volta identificato il livello informativo o la mappa di interesse, il sistema permette due attività distinte:

- export dei metadati in un formato aperto (XML),
- richiesta di fornitura dell'oggetto selezionato.

Consultazione dei dati catastali integrati (terreni e immobili) e piani regolatori - questo servizio mette a disposizione degli utenti abilitati un sistema di visualizzazione generalizzata e consultazione guidata delle informazioni cartografiche e dei Piani Regolatori (o altra forma di pianificazione territoriale comunale disponibile presso la banca dati generale del sistema) di un determinato comune.

CDU pro-forma per il cittadino - il servizio permette la realizzazione di un facsimile del Certificato di Destinazione Urbanistica (CDU pro-forma) permettendo la selezione guidata della particella utilizzando i dati catastali presenti nella banca dati regionale. Produce un estratto di mappa e un file di testo in cui sono riportate una serie di informazioni relative alle relazioni spaziali tra la particella e le aree che descrivono graficamente il Regolamento Urbanistico ed i vincoli.

Analisi dei dati tematici sul territorio comunale ai fini della pianificazione – questo servizio permette ai tecnici comunali di visualizzare, consultare e stampare tutte le informazioni relative ai vari tematismi del DBTI: copertura del suolo, geologia, sezioni di censimento Istat, pericolosità ambientali (frane, esondazioni, aree incendiate, ecc.), mappe di rischio, vincoli, piani sovraordinati, ecc.

Il geodatabase univoco

La base dati geografica territoriale per i due sistemi informativi è stata progettata come un unico geodatabase sia dal punto di vista logico che fisico, in quanto tutti i dati contenuti, sia di base (topografici, ortofoto, immagini satellitari, DTM, ecc.) che tematici (catasto, piani, dati ambientali, pericolosità, ecc.), possono essere utilizzati da entrambe le linee applicative secondo le specifiche necessità.
Il geodatabase è strutturato in un RDBMS, in cui trovano la giusta e ordinata collocazione le classi di oggetti che consentono di descrivere sia la componente antropica dell'area in esame che la componente naturale e di pianificazione.
La progettazione del modello ha seguito le classiche fasi della progettazione di un database territoriale, partendo dalla modellazione concettuale, passando per un disegno logico e una implementazione fisica. Il procedimento non ha avuto soluzione di continuità in quanto gli strumenti utilizzati hanno permesso, in automatico, di passare da un modello UML all'implementazione fisica.
Il geodatabase è stato strutturato con strumenti che rispondono agli standard OGC (Open Geospatial Consortium) consentendo non solo l'accesso controllato attraverso le applicazioni SVA e SIIT, ma anche, con le dovute autorizzazioni, da applicazioni esterne anche sviluppate in altri sistemi software.
Per quanto riguarda i dati topografici vettoriali, sono state rispettate le normative IntesaGIS riportando, per quanto possibile, i dati vettoriali topografici già esistenti nel modello DBTI 5/10k.
Tutti i livelli informativi sono dotati di metadati standard secondo le specifiche elaborate dal CNIPA per l'applicazione dei metadati ISO 19115 alle banche dati geografiche di uso nazionale e regionale.
La predisposizione dei dati per il popolamento del geodatabase sta richiedendo tuttora, per talune informazioni di base e tematiche, varie elaborazioni come ad esempio: digitalizzazione del Piani Comunali, conversione di tutti i dati esistenti nel sistema UTM-WGS84, ristrutturazione dei dati vettoriali topografici, georeferenziazione delle immagini satellitari, generazione tramite elaborazione di dati tematici ambientali, di pericolosità, danno e vulnerabilità, ecc.
Il geodatabase è costituito dai seguenti **dati di base**: limiti amministrativi di regione, province, comuni, perimetrazioni delle località abitate e sezioni di censimento; edificato; punti quotati e curve di livello; reticolo stradale e ferroviario; linee di costa fluviali, lacuali e marine; rete idrografica naturale e artificiale comprensiva di laghi, invasi naturali ed artificiali, alvei fluviali; pozzi,

inghiottitoi e sorgenti; modelli digitali di elevazione a 30 e 90 metri; orto-mosaico Landsat 5 e 7; ortofoto a colori con risoluzione a 20 e 50 cm; Cartografia Tecnica Regionale raster; dati topografici secondo il modello IntesaGIS (ricavati da CTR); quadri di unione IGMI e CTR.
Il geodatabase è costituito dai seguenti **dati tematici ambientali**: rete fognaria generale extraurbana; depuratori, scarichi domestici e industriali, impianti di smaltimento; porti, approdi, manufatti a difesa della costa, strutture antropiche, strutture balneari; fenomeni franosi; zonazione sismica; cave attive e inattive; discariche; campi elettromagnetici; industrie a rischio di incidente rilevante, emissioni industriali in atmosfera, aree industriali; aree venatorie; aree colpite da incendi, aree a rischio di incendio, mappatura della frequenza incendi; siti inquinati; strutture e aree di nuova edificazione; mappature dei dissesti e dell'erosione del medio e basso bacino del fiume Biferno, carta geologica e dei dissesti del bacino del fiume Trigno; parametri aria e aree di isovalore; acque marine, balneabilità, acque superficiali, acque sotterranee, aree di riserva marina o di particolare interesse ambientale, ecosistemi marini costieri; epicentri e caratteristiche di terremoti pregressi; aree esondabili e soggette a pericolosità idriche; geologia, idrogeologia, geomorfologia; principali reti idriche di acqua potabile, acque minerali; grotte e cavità naturali; fauna; parchi e riserve; vincoli paesaggistici; piani di tutela delle acque.
Il geodatabase è costituito infine dai seguenti **dati tematici per la gestione del territorio**: catasto; piani territoriali a livello sovracomunale; Piani Regolatori Generali e Piani di Fabbricazione; Piano Paesistico; Piano dei Trasporti; Aree sottoposte a vincolo.

Lo status dei progetti

Ad oggi i due progetti sono in avanzato stato di realizzazione. I primi servizi saranno resi disponibili per la fase di test entro la fine del 2008, e saranno resi operativi per gli utenti finali entro marzo del 2009. Il progetto si completerà nell'arco del 2009 portando la Regione Molise ad un ottimo livello di servizi sia al pubblico che ai propri uffici e agli uffici degli altri enti locali. Le attività di manutenzione garantiranno la funzionalità operativa del sistema, ma sarà necessario un piano per mantenere nel tempo aggiornate le banche dati geografiche (soprattutto il DataBase Topografico che trae le sue origini da una cartografia ormai datata e non da un rilievo ed una restituzione realizzati secondo le più recenti tecnologie geomatiche e le nuove normative nazionali), e soprattutto per incrementare la rete di monitoraggio che permette di tenere sotto controllo le varie pericolosità ambientali ed antropiche del territorio molisano. Il piano dovrà contenere inoltre le giuste risorse per incrementare i database ed i servizi specifici che già oggi molti uffici richiedono.

CARTOGRAFIA E NUOVE TECNOLOGIE: ATTUALE QUADRO DI RIFERIMENTO

Alberta BIANCHIN

Lab. GEDDeS - Dip. di Pianificazione. Università IUAV di Venezia, Ca' Tron, S.Croce 1957, 30135 Venezia, tel.041.2572300, fax 041.5240403.e-mail: alberta@iuav.it

Riassunto
Vengono definite le caratteristiche delle 4 tipologie di rappresentazioni che si ritiene rientrino oggi nell'ambito della cartografia: carte grafiche, fotocarte, immagini da satellite, gis. Somiglianze e differenze tra i vari documenti vengono discusse da diversi punti di vista: la doppia funzione del piano cartografico, le caratteristiche dei *media*, il contesto dei processi di comunicazione e l'approccio semiotico. Infine vengono messi a confronto foto aere e immagini da satellite.

Abstract
It can be argued that today's cartography includes 4 types of representations: graphic maps, photo-maps, satellite maps and GISs, the characteristic of which are herein defined. The similarities and differences of these documents are discussed from several points of view: the duality of the representational plane, the nature of media, the message context in the communication process, and the semiotic approach. Aerial photos and satellite images are then compared with graphic maps.

Premessa
Il punto di vista e di analisi che qui assumiamo si limita a prendere in considerazione una serie di documenti-immagine analogici e digitali che spesso vengono proposti e utilizzati in sostituzione della cartografia classica. Per cartografia classica mi riferisco alle carte generali e tematiche, grafiche. Nell'ultimo mezzo secolo sono state proposte anche dagli Istituti geografici nazionali documenti cartografici che utilizzano l'espressione fotografica – ortofotocarte e spaziocarte – in sostituzione delle classiche carte grafiche. Inoltre la carta grafica, ormai digitale e numerica, è diventata uno dei prodotti dei sistemi informativi geografici gestiti da sw Gis (Bianchin, 1993). Il superamento poi in ambito informatico della incompatibilità tra formato *raster* e vettoriale ha portato all'integrazione di *layer* cartografici grafici (vettoriali) con documenti carto-fotografici, detti BD-*ortho*.
Attualmente quindi nell'ambito della cartografia possiamo disporre di più prodotti che ci pare utile distinguere nelle 4 tipologie : Carta classica, Foto aerea, Immagine da satellite, Gis. Enunciamo subito le loro caratteristiche in base ad alcuni descrittori classici che fanno riferimento alle caratteristiche materiali della tecnica e del significante usato, del sistema di segni, del dato registrato, dell'ideologia sottostante a quella specifica tecnologia e qualsiasi altra caratteristica in relazione alla loro fruizione.

- Carta classica

disegno lineare _ geometria (punto, linea, poligono)
isolated objects _ censura tra ciò che è significativo e non _ monosemia della comunicazione

- Foto aerea

grana, emulsione fotografica _ macchie _
cover _annerimento dei grani= radiazione luminosa proveniente dalla superficie

pansemia /polisemia _necessita una discretizzazione = ricerca di significanti_interpretazione

- Immagine da satellite

raster _ *pixel* _ griglia di *pixel* _multispettralità
cover _ valori radiometrici _ visualizzazione e trattamento delle immagini

- Gis

vector _ geometria (punto, linea, poligono)
isolated objects _ censura tra ciò che è significativo e non _ monosemia

Risultano evidenti da questa prima distinzione gli elementi comuni a Carta classica e Gis, e a Foto aeree e Immagine da satellite, come pure la contrapposizione (analogico / digitale) di Carta classica e Foto aerea *versus* Immagine da satellite e Gis.
Tutti sono inoltre documenti immagine, ovvero oggetti materiali che sono il risultato di processi di produzione e sistemi di segni posizionati sul piano dell'immagine, quindi sistemi di segni spaziali (Bertin, 1967).

Il piano cartografico

La cartografia si occupa di informazione spaziale o geografica (=localizzata), della sua acquisizione e/o produzione, gestione, elaborazione e comunicazione. J. Bertin direbbe di sistemi di segni spaziali, i cultori Gis di sistemi informativi geografici o spaziali.
Vi è quindi una comune idea di sistema che fa riferimento allo spazio. Lo spazio bidimensionale dell'immagine, quello di J. Bertin; lo spazio di un sistema di riferimento (geodetico ma alla fine piano) quello dei Gis. Non nascondiamoci che il "sistema" dell'approccio Gis fa riferimento alla strutturazione dell'informazione in DB - le coordinate possono essere viste anche come un attributo - mentre per Bertin chi lavora con l'immagine fa riferimento al "sistema immagine". Ciononostante quello spazio ha in comune l'essere uno spazio geometrico (punto, linea, poligoni) e uno spazio di coordinate.
Anche la fotografia si basa sulla prospettiva geometrica ed è quindi un piano geometrico - o più in generale una superficie - con relativo sistema di coordinate.
Anche il nostro sistema visivo, col quale alla fine percepiamo le immagini, presuppone un piano (o superficie) dove si forma l'immagine visiva.
Il piano geometrico e il sistema di coordinate ad esso associato è l'elemento che mette in comune i vari tipi di rappresentazioni cartografiche che prendiamo in considerazione. Come giustamente sottolinea J. Bertin il piano cartografico trascina con sé le proprietà geometriche e metriche ma è anche un piano di significati continuo e omogeneo. La possibilità di far coincidere, attraverso le opportune trasformazioni matematiche, il piano geometrico delle varie rappresentazioni, induce l'idea erronea che anche il piano dei significati ad esso sovrapposto venga a coincidere e quindi che le varie rappresentazioni siano uguali e sostituibili.

Rappresentazione e comunicazione.

Mac Eacheren (1995) inizia il primo capitolo del suo libro con l'affermazione "Cartography is about representation". E nella prefazione "The representational nature of maps, however, is often ignored – what we see when looking at a map is not the world , but an abstract representation that we find convenient to use in place of the world. When we built these abstract representations we are not *revealing* knowledge as much as are *creating* it".
La carta (geografica e topografica) è una rappresentazione del mondo, e rappresentazione implica un oggetto sottostante (la semiologia parla di referente) che viene rappresentato. Nel nostro caso il referente è il territorio o come preferiscono i topografi, la superficie della terra.
Fare la storia della cartografia è immediatamente fare la storia delle visioni del mondo, dei paradigmi cognitivi che hanno costruito quelle visioni. Nel medioevo il sapere geografico, rappresentato dalle carte proveniva dalla speculazione filosofica o dai racconti di viaggio (pensiamo agli gli atlanti di Buaches, Gastaldi, Ortelius, ecc.), nell'ottocento da osservazioni e descrizioni

basate sulle categorie definite dalle varie discipline. Pensiamo alla famosa Commissione Topografica istituita da Napoleone per definire la legenda della Carta d'Etat Major. Descrivere implica designare, nominare, classificare, distinguere, associare, mettere in relazione, infine esemplificare con il disegno ciò che parola e descrizione verbale non sono in grado di esprimere. Senza dubbio, alcune descrizioni geografiche si basano essenzialmente nella loro descrizione grafico/geografica.
Il documento cartografico è quindi il risultato di due componenti: idee (o ideologia) e tecnologia.

IDEOLOGIA + TECNOLOGIA = DOCUMENTO

L'intreccio tra queste due componenti può essere analizzato partendo dal documento stesso, il testo come direbbe l'approccio semiotico.
La finalità comunicativa della carta è stata ampiamente sviluppata da J. Bertin facendo riferimento, anche se non esplicito, alla teoria dell'informazione. Le analisi di J. Bertin (1977) sull'utilità delle costruzioni grafiche portano sempre sull'efficacia comunicativa o più precisamente sulla completa corrispondenza tra messaggio emesso e messaggio ricevuto. La monosemia della carta su cui egli insiste è una delle garanzie dell'inequivocabilità del processo di comunicazione. La monosemia viene assicurata dalla legenda della carta che introduce il codice di lettura.
Lo schema comunicativo della carta grafica, e analogamente quello del Gis, ha come input una precisa informazione da trasmettere (oggetti territoriali), già codificata nella legenda o nel *Data Dictionary* dei Gis. Le possibilità di *query* permesse dai gis permette all'utente di selezionare, all'interno dei dati registrati, quelli che corrispondono al messaggio voluto. Quindi la possibilità di costruirsi la propria carta tematica.

Processo grafico *vs* processo fotografico
La semiotica strutturale individua il piano del contenuto, e il piano dell'espressione come piani indipendenti la cui relazione semiotica si materializza nel testo. Testo è per l'appunto il risultato sul piano della manifestazione, l'oggetto semiotico suscettibile di una procedura di analisi. "Nell'ottica generativa il processo di produzione di un testo può essere pensato come il duplice passaggio dalle strutture profonde verso le strutture di superficie, in vista della manifestazione al momento della semiosi." (Marciani, Zinna, 1991, p.32)
Abbiamo oggi a che fare nel campo della cartografia con due tipi di piani di espressione, quello grafico e quello fotografico, che cercheremo di analizzare a partire dai diversi tipi di documenti per individuare i processi di significazione messi in atto. Ciò in particolare per quel che riguarda l'aspetto rappresentazionale e conoscitivo.

Il piano dell'espressione grafica che ha come elemento di base il "tratto" da cui si generano figure più complesse che la geometria ha già classificato in punti, linee e poligoni. Il modello vettoriale dell'immagine digitale ripropone esattamente questa "conversione" dal livello profondo il "vettore" a quello superficiale "polilinea aperta o chiusa" che si manifesta infine in una specifica configurazione.
Le carta o rappresentazione della superficie della terra che viene prodotta attraverso l'utilizzo di questo tipo di espressione, per sua natura privilegia una rappresentazione di "confini", di separazioni tra spazi, o di delimitazioni di spazi. Oggetti lineari o configurazioni lineari chiuse.
Il contenuto che si manifesta nella carta è quello elaborato dalla descrizione geografica del territorio di cui peraltro la carta è coeva.
Lo spazio cartografico è popolato da oggetti isolati repertoriati nella legenda e di curve di livello che ne descrivono la morfologia.
La carta, in quanto semiosi, manifesta soprattutto gli aspetti geometrici del territorio, trasforma le categorie geografiche o territoriali in configurazioni geometriche, registra i contorni degli oggetti. Essi vengono estratti dal loro anonimato attraverso la toponomastica.

Sul piano della rappresentazione, il territorio nient'altro è che la somma e la distribuzione di *isolated objects* (Chrisman, 1997) sul piano cartografico che coincide, a meno della scala e degli opportuni accorgimenti cartografici, con la superficie terrestre. Isolated objects descritti principalmente attraverso la loro configurazione geometrica.

Il piano dell'espressione fotografica ha come elemento base la macchia (o superficie minima percepibile o registrabile) che si differenzia per contrasto dalle macchie adiacenti. Grana fotografica irregolare nella fotografia analogica, o elemento discreto a geometria regolare nella fotografia digitale. L'aggregazione a livello superiore si ottiene per contiguità e omogeneità di cromatismo. Ogni punto dello spazio dell'immagine è qualificato da un valore cromatico. L'immagine restituisce colori o toni di grigio.
Sul piano del contenuto, il territorio reso manifesto dalla foto aerea è un territorio visivo, ovvero registrato nei suoi aspetti visivi - proprietà di colore forma e dimensione - (Casati 1991). Lo stesso referente si esplica quindi su piani di contenuto un po' diversi.
Indaghiamo i termini del processo di produzione nei due casi.
La carta grafica fa riferimento a oggetti geografici già definiti, quindi a una interpretazione del mondo elaborata dalle discipline quali la geografia, la morfologia, l'agronomia, ecc. Questi oggetti sono stati selezionati dal cartografo, depositati nella carta con un preciso codice grafico definito nella legenda e trasmessi all'utente. L'utente riceve una informazione già selezionata e ben delimitata con relative istruzioni di lettura. Il processo cartografico ha operato per lui una operazione di censura tra ciò che è significativo e ciò che non lo è.
La fotografia aerea registra alcune proprietà visibili del mondo, opera una selezione dipendente dalle proprietà fisiche (alcune) del mondo che fotografa e dalla tecnica di registrazione, ma rinvia l'interpretazione e la categorizzazione all'osservatore.
Ritornando a Mc Eacheren e alla sua definizione di carta come una rappresentazione che noi troviamo utile usare al posto del mondo: "It seems that the traditional map is proposing an abstract representation of it, but aerial photograph is revealing the world". Noi possiamo quindi usare entrambe quali sostituto del mondo, ma la fotografia aerea ha in sé uno *status* di rappresentazione "reale" del mondo (*revealing the world*).

Messaggio fotografico *vs* messaggio cartografico
Il messaggio della carta grafica è stato ampiamente sviluppato e studiato da J. Bertin in termini generali e secondo un quadro articolato e comprensivo da H. Schilchmann (1994).
Sulle caratteristiche di comunicazione della fotografia (per noi le fotocarte o le foto aeree) possiamo riprendere i termini di R. Barthes (1961), di un *message sans code*. Riportiamo parte di quel testo perchè esprime bene la differenza tra la carta grafica che discretizza in unità e il continuo fotografico.
"Quel est le contenu du message photographique? Qu'est-ce que la photographie transmet? Par définition, la scène elle-même, le réel littéral. De l'objet à son image, il y a certes une réduction: de proportion, de perspective et de couleur. Mais cette réduction n'est à aucun moment une *transformation* (au sens mathématique du terme); pour passer du réel à sa photographie, il n'est nullement nécessaire de découper ce réel en unités et de constituer ces unités en signes différents substantiellement de l'objet qu'ils donnent à lire; entre cet objet et son image, il n'est nullement nécessaire de disposer un relais, c'est à dire un code; certes l'image n'est pas le réel; mais elle en est du moins son *analogon* parfait, et c'est précisément cette perfection analogique qui devant le sens commun, définit la photographie. Ainsi parait le statut particulier de l'image photographique: *c'est un message sans code*; proposition dont il faut tout de suite dégager un corollaire important: le message photographique est un message continu."
Ritornando sulle pratiche cartografiche, il procedimento di fotointerpretazione mette in atto metodologie di discretizzazione del *continuum* fotografico in segni pertinenti, come pure quello delle tecniche di classificazione in ambito del *Remote Sensing*.

Carte grafiche *vs* fotocarte

Nel contesto del nostro discorso, non ci interessa distinguere foto aerea da fotocarta, trattandosi degli aspetti comunicativo/cognitivi e non di quelli metrici. La foto aerea beneficia ancor più di ogni altra fotografia del brevetto di realismo, conseguenza secondo P. Bourdieu (1965) della comune pratica che fa coincidere la fotografia con i canoni della visione tradizionale, data l'assenza di un operatore fotografo che scelga le condizioni di presa. Dovremmo però dire, che l'intenzionalità soggiacente è quella del cartografo. Si desidera avere una immagine più vicina possibile alla proiezione ortogonale cartografica. Tutto ciò che si discosta da questa è considerato disturbo o rumore. La foto aerea può essere classificata, nel rapporto tra linguaggio fotografico e "realtà", nella "fotografia referenziale" (Floch, 1986).

Barthes ci dice che è un messaggio senza codice e continuo. Come dunque si accede all'immagine fotografica? Seguendo Barthes, come già detto sopra, dobbiamo discretizzare e codificare questo *continuum*. Secondo quale codice? In generale un codice già appreso. E' così che nella maggior parte dei casi questo codice è quello della cartografia grafica. Oppure dobbiamo operare con delle metodologie di analisi del significante libere, per quanto possibile, da un prefissato codice di lettura. Interviene qui il problema dell'osservazione di una fotografia. Se da un lato il segno iconico rende conto di un oggetto solo in quanto questo può essere riconnesso a un modello, viene riconosciuto alla percezione – non solo visiva – una capacità di costruire entità visive in relazione a entità dell'esperienza. Per la semiotica cognitiva (Groupe μ, 2004) sensorialità e cognizione sono strettamente legate. .

Dunque l'immagine fotografica necessita sempre e comunque di un processo di semiotizzazione, il suo ancoraggio a un insieme di significati che l'osservatore ha in testa o cercherà di costruirsi nell'interazione con i risultati della sua analisi visiva.

Lasciare all'osservatore il compito di costruire i significati, di selezionare tra ciò che è significativo e non, con il rischio tuttavia che, in assenza di strumenti di analisi e di un sistema di codici di riferimento, la rappresentazione del territorio resta muta al di là delle sue apparenze visive.

Carte *vs* immagini satellitari

L'immagine da satellite registra dati spaziali, e in più la multispettralità moltiplica l'informazione in Z. Ed è proprio questa multi-informazione spettrale in Z che ci consente di applicare tecniche di analisi multivariata, ovvero le classificazioni multispettrali.

L'immagine da satellite, in quanto digitale e numerica, quindi compatibile con gli strumenti informatici e le conseguenti grandi potenzialità di calcolo, può fruire di un ampio ventaglio di tecniche di trattamento delle immagini sviluppate in vari ambiti della matematica, della geometria e della statistica (Coster, Cherman, 1989). Le possibilità di elaborazione dell'informazione contenuta nelle immagini da satellite sono quasi infinite (Cocquerez and Philipp 1995, Richards 1999, Tso and Mather 2001).

Il cartografo che utilizza le immagini da satellite deve diventare un po' esperto delle tecniche di trattamento, nel senso di saper differenziare la filosofia dei vari approcci, per poter applicare quelli che meglio rispondono al tipo di informazione cercata.

Vale la pena soffermarci sulle caratteristiche dell'informazione della carta e dell'immagine satellitare. Nella carta tradizionale l'informazione è trascritta dal segno grafico e concerne oggetti materializzati sul territorio come edifici, strade, ecc. o categorie di *land cover* or *land use* definite dalle varie discipline, come pascoli, boschi, orti, ghiacciai, ecc. Il dato dell'immagine da satellite è un *Digital Number* che esprime la radiazione ricevuta dalla superficie al suolo corrispondente a quel *pixel* e relativa alla specifica banda di registrazione.

La visualizzazione (LUT o composizione colorata) dell'immagine restituisce l'informazione di DN e non va confusa con l'informazione restituita da una carta-risultato di un processo di elaborazione dell'immagine che implica il passaggio dall'universo delle misure radiometriche all'universo delle categorie territoriali. La visualizzazione di una immagine da satellite non ha una legenda che associ a un colore un significato dell'universo delle categorie territoriali. Quella che alcuni autori mostrano

come legenda è la funzione di visualizzazione che associa il colore al valore radiometrico. Si tratta nei due casi di livelli informativi completamente diversi anche se i due documenti-immagine si presentano simili.
Per essere chiari, una carta – nel senso tradizionale – prodotta da immagini da satellite deve avere una legenda relativa alle categorie territoriali definite dalle varie discipline o compatibili con esse.

Conclusioni
Abbiamo cercato di mettere in luce, in modo frammentario con riferimento a studi e teorie sulla fotografia, (1) le differenze di *status* di carta e foto aerea in quanto *media*, (2) il diverso contenuto informativo (oggetti territoriali e *continuum* visivo) nella loro funzione rappresentazionale (3) la diversa modalità di interazione con il ricevente nel processo di comunicazione (ricevente di un messaggio codificato nella carta, osservatore nel caso della foto aerea).
Questo per sgomberare il campo dall'idea che carta = foto aerea. In prima approssimazione possiamo mettere insieme Carta grafica e Gis, Foto aerea e Immagine da satellite. Qua e là abbiamo cercato di mettere in evidenza alcune specificità soprattutto nell'aspetto di manipolazione dell'ambiente digitale che permette all'utente una maggior libertà di interazione, a condizione di possedere le capacità e le conoscenze strumentali.
E' nostra convinzione che questi documenti non sono sostitutivi l'uno dell'altro, ma vanno usati in modo complementare, data la diversità dei loro contenuti e delle pratiche d'uso.

Bibliografia
Barthes R. (1961), "Le message photographique", *Communications* n.1, Paris.
Bertin J. (1967), *Sémiologie Graphique*, Mouton Gauthier Villard, Paris.
Bertin J. (1977), *La graphique et le traitement graphique de l'information*, Flammarion, Paris (tr. it. *La grafica e il trattamento grafico dell'informazione*, ERI, Torino, 1981)
Bianchin A.(1993), "Qu'est-ce qu'il reste de la cartographie après l'apparition des GIS?", *Proccedings 16th ICC*, Cologne/Khöln
Bourdieu P. (1965), *Un art moyen*, essai sur les usages sociaux de la photographie, Minuit, Paris
Casati R. (1991), *Immagine. Introduzione ai problemi filosofici della rappresentazione,* Nuova Italia, Firenze
Chrisman N. (1997), *Exploring Geographic Information Systems*, Wiley and Sons, NY
Cocquerez J.P., Philipp S.(eds.) (1995), *Analyse d'images, filtrage et segmentation,* Masson, Paris
Coster M., Cherman, J.L. (1989), *Précis d'analyse d'images,* Presses du CNRS, Paris
Edeline F., Klinkenberg J.M. (2004), "Voir, percevoir, concevoir. Du sensoriel au catégoriel", Hénault A., Beyaert A., *Ateliers de sémiotique visuelle*, Puf, Paris, 65-82 .
Floch J.M.(1986), *Les formes de l'empreint,* Pierre Fanlac, Périgueux
Groupe μ (2004), "Voir, percevoir, concevoir. Du sensoriel au catégoriel", in Hénault, A. et Beyaert A. (eds.), *Ateliers de sémiotique visuelle,*: Puf, Paris
MacEachren A. M. (1995), *How maps work*, Guilford Press, NY.
Mc Luhan M. (1967), *The medium is the message*, Bantam, New York.
Marsciani F., Zinna A.(1991), *Elementi di semiotica generativa,* Esculapio, Bologna
Richards J.A. (1999), *Remote Sensing Digital Image Analysis*, Springer-Verlag, Berlino
Schilchmann H. (1994), "Map simbolism revisited: units, order, and context", in Pravda J., Schlichtmann H., Wolodtschenko A. (1994),*Cartographic Thinking and Map Semiotics*, Geographia Slovaca, 5, 47-62.
Tso B., Mather P.M. (2001), *Classification methods for remotely sensed data*, Taylor & Francis, Londra

UTILIZZO METRICO DI IMMAGINI SATELLITARI PANORAMICHE DECLASSIFICATE NELLO STUDIO DI UN'AREA DI INTERESSE ARCHEOLOGICO IN TURCHIA

Gabriele BITELLI, Valentina Alena GIRELLI

DISTART – Università di Bologna – (gabriele.bitelli, valentina.girelli)@mail.ing.unibo.it

Riassunto

Nell'ambito di un progetto multi-disciplinare condotto intorno al sito archeologico di *Tilmen Höyük* (Turchia) dall'Università di Bologna in collaborazione con l'Università di Istanbul ed il Museo Archeologico di *Gaziantep*, si è inteso verificare l'uso di immagini declassificate del programma statunitense Corona (1960-1972). Tale tipo di immagini, pur rappresentando una risorsa storica notevole, è stato molto raramente impiegato a scopi metrici, in quanto il loro trattamento geometrico viene notevolmente complicato dalle varie distorsioni che le affliggono e dalla difficoltà nel reperimento di dati tecnici sulle missioni.

Il lavoro si propone di approfondire questa tematica ponendosi due obiettivi principali: da un lato la valutazione delle potenzialità offerte da questo patrimonio, e dall'altro l'approfondimento sulle problematiche e le soluzioni adottate per l'utilizzo metrico di queste immagini, in particolare orientato alla generazione di ortofoto a supporto di uno studio a carattere regionale del territorio.

La disponibilità di immagini multi-temporali su un ampio intervallo di tempo potrebbe dotare lo studio sull'area in oggetto di strumenti di conoscenza di altissimo interesse per la comprensione dei cambiamenti intercorsi.

Abstract

In the framework of a multidisciplinary research carried out at the Tilmen Höyük archaeological site (Turkey) and its surrounding region, remote sensing data are adopted for characterization of the area and of its evolution in time.

Some old declassified satellite images are used coming from the Corona program, the first US operational space photo reconnaissance project, operating in the period 1960-1972. The images are panoramic, affected by severe distortion; a high resolution scanned copy has been processed using a digital photogrammetric workstation in order to produce metric products of acceptable quality for mapping purposes. In the paper some specific problems of these cameras are presented, together with the procedures adopted for image orientation and data processing.

Introduzione

Il tema del recupero di immagini aeree e satellitari del passato è oggi di grande interesse per un ampio spettro di applicazioni sul territorio, tra le quali la ricerca in ambito archeologico, che sta ricevendo interessanti contributi dal campo del telerilevamento (Wiseman & El-Baz, 2007). Oltre ai numerosi voli aerofotogrammetrici che, a partire dai primi decenni del '900, hanno riguardato vaste aree in tutto il mondo, rivestono senz'altro grande interesse le immagini acquisite negli ultimi 50 anni mediante piattaforma satellitare, tra le quali soprattutto quelle realizzate a scopo di spionaggio militare, ad alta risoluzione geometrica e di ottimo dettaglio. Grazie ad iniziative di declassificazione, vaste quantità di queste immagini del passato sono ora disponibili per scopi di ricerca; il loro impiego è tuttavia nella gran parte dei casi di carattere solo qualitativo, a causa di

numerose problematiche, tra le quali la mancanza o inaccessibilità di dati tecnici e la difficoltà nell'eliminare o ridurre le forti distorsioni che le caratterizzano.
Il lavoro presenta un'esperienza di utilizzo di immagini satellitari panoramiche declassificate, realizzate con l'obiettivo di fornire un dato metrico storico di buona risoluzione da impiegarsi per analisi dei cambiamenti a livello regionale e locale in un'area di elevato interesse archeologico.

Aspetti generali del progetto Corona

Il progetto statunitense Corona nacque nel 1958 su iniziativa della *Central Intelligence Agency* (CIA) e del presidente americano Eisenhower; lo scopo di questa missione segreta era quella di "fotografare" da satellite la Terra, in particolare al fine di monitorare i progressi militari e nucleari nell'Unione Sovietica e nel Medio Oriente (McDonald, 1995). Il primo satellite fu lanciato in orbita nel Febbraio del 1959, anche se solo l'anno successivo ci fu la prima missione effettivamente operativa; il progetto ebbe termine nel 1972. Le 144 missioni, di durata variabile tra 1 e 19 giorni e non tutte coronate da successo, venivano compiute su orbite quasi-polari ad altezze differenti a seconda dei sistemi via via sviluppati e terminavano con il recupero del *bucket* con il film. La mole di dati raccolti fu enorme; in totale Corona acquisì più di 800000 fotogrammi, coprendo un'area della superficie terrestre fra 1,5 e 2 milioni di km^2; la risoluzione nominale a terra, pur variabile nei vari sistemi sviluppati per le diverse caratteristiche orbitali e strumentali, era molto elevata, dell'ordine di qualche metro (va notato tuttavia che, per le modalità di acquisizione, la risoluzione è variabile all'interno di una stessa immagine).
Nel 1995, facendo seguito all'approvazione da parte del governo degli Stati Uniti dello sviluppo e commercializzazione in ambito non militare di sensori satellitari in grado di raggiungere risoluzioni a terra inferiori al metro, le immagini Corona vennero "declassificate" dal settore militare e rese disponibili all'utenza civile.
L'*United States Geological Survey* (USGS) ha preso in carico la diffusione e la commercializzazione delle immagini Corona, che, a parità di risoluzione nominale a terra, presentano un costo di molto inferiore rispetto a quelle fornite da altri sensori. I prodotti (negativi, diapositive, stampe e file digitali delle immagini) sono ora visionabili e ordinabili *on-line* dal sito web dell'EROS *Data Center*; le pellicole originali ed i dati tecnici sulle missioni sono invece mantenuti dal *National Archives and Records Administration* (NARA) e disponibili esclusivamente tramite una procedura denominata FOIA (*Freedom Of Information Act)*. Va sottolineato che la difficoltà nel reperimento di questo tipo di informazioni (Galiatsasos, 2004) è proprio uno degli aspetti che rende problematico il trattamento metrico di questo tipo di immagini.

Caratteristiche delle immagini Corona

Considerando gli scopi del progetto, vennero scelte per l'acquisizione soprattutto le camere panoramiche, che permettono di ottenere immagini caratterizzate sia da un'elevata risoluzione che da un'ampia copertura a terra. In tali camere la pellicola è disposta su di una superficie semi-cilindrica e la sua esposizione avviene, tramite una fessura, da un movimento delle lenti in direzione perpendicolare alla linea di volo (figura 1).

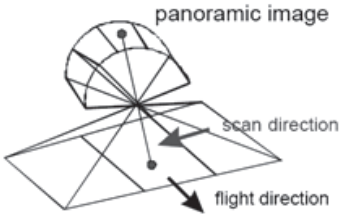


Figura 1 – Acquisizione di immagine panoramica

Durante i 12 anni di durata del progetto vennero apportate modifiche a tutti gli aspetti tecnologici delle piattaforme satellitari; l'evoluzione più grande riguardò i tipi di camere impiegate. Infatti, con il passare degli anni, vennero incrementate la risoluzione, la copertura a terra e la durata delle missioni; inoltre vennero modificati la pellicola impiegata ed il tempo di esposizione per ciascun fotogramma; rimasero invece sostanzialmente invariate la focale della camera, sempre pari a 24 pollici, l'ottica

delle camere e l'angolo "spazzato" dal sistema di lenti in direzione trasversale alla linea di volo, il cosiddetto *scan angle*, rimasto costante e pari a circa 71° (Tabella 1).
Tutti i sistemi Corona vennero denominati con la sigla KH, ovvero *Key Hole*, ad indicare il loro ruolo di spionaggio.
Le prime missioni (KH-1, KH-2, KH-3 e KH-6) montavano una singola camera panoramica, mentre gli ultimi sistemi (KH-4, KH-4A and KH-4B) erano in grado di acquisire coppie stereoscopiche grazie a due camere panoramiche, Forward e Afterward (figura 2), montate tra loro con un angolo di 30 gradi (NRO Data Book, 1967).

Sistema	**KH-1-4**	**KH-4A**	**KH-4B**	**KH-5**	**KH-6**
Tipo di camera	Panoramica	Panoramica	Panoramica	Frame	Panoramica
Dimensione pellicola (cm)	7.0 × 75.7	7.0 × 75.7	7.0 × 75.7	12.7 × 12.7	12.7 × 63.5
Lunghezza focale (cm)	60.96	60.96	60.96	7.62	167.64
Max risoluzione a terra (m)	7.6	2.7	1.8	14.0	1.8
Quota orbitale nominale (km)	da 170 a 460	185	150	320	170
Scala nominale immagine	1:275000-1:760000	1:305000	1:247500	1:4250000	1:100000
Copertura immagine (km)	15×290 - 42×580	17×232	14×188	483×483	12×64

Tabella 1 – Caratteristiche dei sistemi Corona (fonte: sito web USGS).

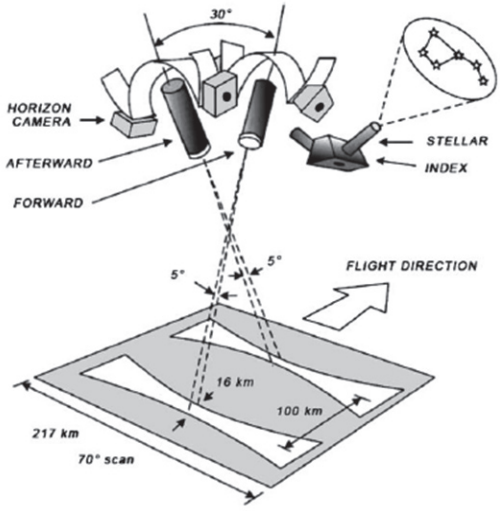


Figura 2 – L' acquisizione stereoscopica nel sistema Corona KH-4B (Sohn et al., 2004).

A causa della geometria di acquisizione panoramica, le immagini Corona presentano distorsioni differenti da quelle che generalmente affliggono le classiche immagini *frame* e sostanzialmente dovute a tre fattori: la forma cilindrica del dispositivo su cui è montata la pellicola, il movimento della piattaforma mentre il sistema di lenti "spazza" lo *scan angle*, la traslazione della pellicola dovuta al dispositivo di *Image Motion Compensation*. Considerando l'espressione di queste distorsioni è possibile formulare delle equazioni di collinearità modificate che permettono di descrivere analiticamente il principio di acquisizione panoramica (Sohn et al., 2004). Approcci differenti proposti da altri autori considerano, al fine di modellizzare le distorsioni generate dalla geometria panoramica, parametri di orientamento esterno variabili in funzione del tempo; un metodo alternativo, denominato IEFP (*Instantaneous Equivalent Frame Photograph*), riduce le

immagini panoramiche a *frame* acquisiti con la stessa inclinazione e focale (Case, 1967). In ogni caso è importante sottolineare che un approccio rigoroso al modello di camera panoramica è possibile solo attraverso la conoscenza di tutti i parametri geometrici di acquisizione; come già detto precedentemente i dati tecnici sulle immagini non sono facilmente accessibili, e quindi diviene necessario utilizzare alcuni valori approssimati noti da fonti bibliografiche e calcolare tutti i parametri incogniti per mezzo di un adeguato numero di punti di appoggio di buona qualità.

Generazione dell'ortofoto Corona nell'area del sito archeologico di Tilmen Höyük

L'Università di Bologna, nell'ambito di una missione congiunta italo-turca in collaborazione con l'Università di Istanbul e con il Museo Archeologico di Gaziantep, è impegnata dal 2004 in un'attività di ricerca multidisciplinare incentrata sul sito archeologico di Tilmen Höyük (Marchetti, 2006), nella Turchia sud-orientale, e sulla circostante regione della piana di Islahiye (fig. 3). Il sito (un importante insediamento risalente al II millennio a.C.) e l'area adiacente sono stati oggetto, tra l'altro, di rilievi di tipo geofisico e geomatico che hanno coinvolto differenti tecniche e tecnologie: rilievi georadar e geomagnetici, telerilevamento satellitare, topografia, fotogrammetria, GPS, laser a scansione (Bitelli et al., 2007).

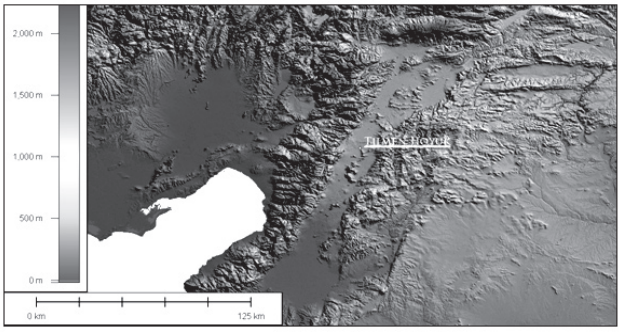


Figura 3 – Il sito archeologico di Tilmen Höyük e la piana di Islahiye (base SRTM).

La Missione archeologica ha inteso predisporre un'ampia base conoscitiva sull'area di indagine, nell'intento di acquisire e georeferenziare su un unico database diversi livelli informativi che possano supportare analisi non solo di tipo strettamente archeologico ma anche di carattere ambientale e territoriale, legate al contesto del sito. In quest'ottica, insieme ad immagini satellitari recenti ad alta e media risoluzione, sono stati acquisiti anche dati satellitari storici, che possano essere utili in uno studio sui cambiamenti intercosi nella regione.

Nell'archivio delle immagini Corona, visualizzabile sul sito web dell'USGS, risulta disponibile per la zona di interesse un'immagine risalente al 3 Marzo 1968 e acquisita dal sistema KH-4A. L'ampia copertura dell'immagine è mostrata in figura 4.



Figura 4 – Footprint dell'immagine Corona elaborata (USGS).

Mediante scansione con uno scanner fotogrammetrico professionale, con risoluzione geometrica 7 µm, l'immagine originale su film è stata convertita in formato digitale; considerando le inusuali

dimensioni della fotografia (70 mm x 75.692 cm), la scansione ha generato 4 file singoli parzialmente sovrapposti in direzione longitudinale che costituiscono il prodotto fornito su supporto DVD (Figura 5).

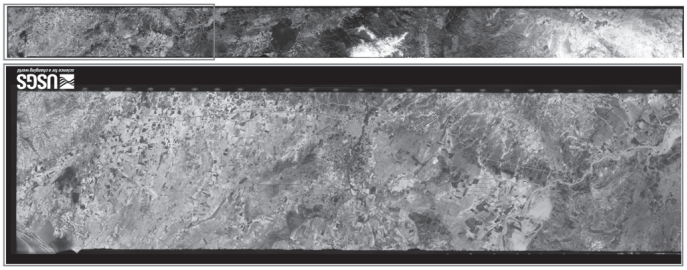


Figura 5 – In alto l'intera immagine Corona e sotto una delle 4 immagini derivate dalla scansione.

Il processamento è stato eseguito utilizzando la stazione fotogrammetrica digitale Socet Set v.5.4.0., utilizzando il *tool* di *import* delle immagini panoramiche che consente un approccio rigoroso a questo tipo di camera, con compensazione del movimento del sensore. Come già detto precedentemente, questo metodo richiede la conoscenza delle effemeridi precise del satellite e dei dati tecnici sulle immagini; l'utilizzo di valori approssimati rende indispensabile la disponibilità di un adeguato numero di punti di appoggio di buona qualità, al fine di determinare tramite un processo di triangolazione globale i parametri di orientamento interno ed esterno. Tra gli altri, è stato necessario valutare, sulla base di considerazioni geometriche, i valori degli angoli di *start* e *end scan* per ciascuna delle 4 porzioni di immagine corrispondenti ai file forniti dalla scansione.
Non disponendo al momento attuale di una base cartografica unica ed omogenea su tutta l'area coperta, una prima ortofoto test dell'immagine Corona è stata generata utilizzando, per la fase di triangolazione, 50 punti di appoggio desunti dal sistema *Google Earth* e, come Modello Digitale del Terreno, il dato SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). La fase di individuazione e collimazione dei punti ha creato notevoli problemi, legati sia ai grandi cambiamenti intercorsi nella zona dal 1968 ad oggi che alla morfologia e copertura del territorio, caratterizzato da ampie zone montuose e boschive, che rende difficile una omogenea distribuzione di punti ben identificabili.
I residui sui punti noti hanno raggiunto valori di circa 10 m in planimetria e 5 m in quota; tuttavia l'analisi sulle coordinate di alcuni *check points* ha evidenziato una certa disomogeneità nell'accuratezza del prodotto, che peraltro potrebbe essere attribuibile ad una qualità di georeferenziazione non omogenea delle immagini di *Google Earth*, in particolare considerando l'ampia area coperta dalla Corona. La seguente figura 6 mostra l'ortofoto prodotta.

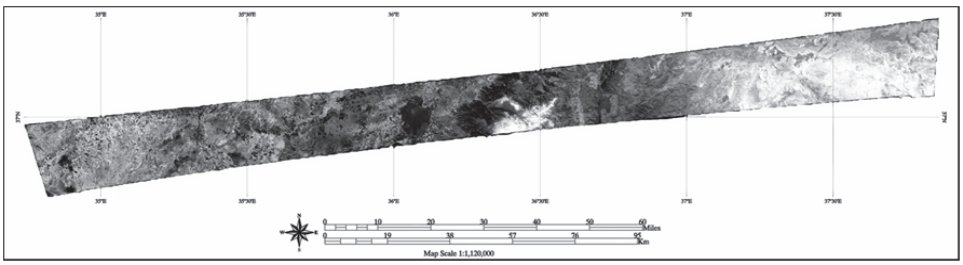


Figura 6 – Ortofoto dell'immagine Corona (WGS84, dimensione del pixel a terra 10 m).

Al fine di evidenziare l'importanza di buoni dati a terra per il trattamento di questi tipo di immagine, è stata processata una porzione di immagine relativa al sito archeologico, utilizzando

come punti di appoggio 15 punti derivati da cartografia a media scala e da immagini satellitari ad elevata e moderata scala disponibili relativamente a quest'area (QuickBird, ASTER). In questo caso l'accuratezza raggiunta è stata migliore, evidenziata da residui sui *check points* nell'ordine dei 5 m. L'ortofoto generata è mostrata in figura 7, posta a confronto con quella ottenuta da una immagine QuickBird del 2003. Sul sito archeologico, posto al centro dell'immagine, risultano evidenti, con livello di grigio chiaro, i segni degli scavi condotti in quel periodo da un equipe archeologica turca.

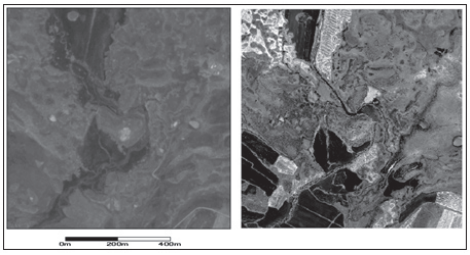


Figura 7 – A sinistra ortofoto Corona dell'area di Tilmen Höyük (GSD=5m); a destra la stessa area estratta da un'ortofoto generata da immagine QuickBird pancromatica.

Conclusioni

Un uso metrico delle immagini Corona in ambiente digitale può consentire una analisi oggettiva di *change detection* su un ampio intervallo temporale. L'utilizzo di questi dati richiede tuttavia una procedura specifica e la disponibilità di punti di appoggio adeguati. Sull'area analizzata i risultati raggiunti, che potranno essere migliorati con la disponibilità di migliori dati a terra, saranno integrati in ambiente GIS con altri livelli informativi, di tipo telerilevato e non, nell'ambito di studi sia a carattere locale che regionale.

Bibliografia

Bitelli G., Girelli V.A., Remondino F., Vittuari L. (2007). The potential of 3D techniques for Cultural Heritage object documentation. Proc. Videometrics IX-SPIE-IS&T, 6491, San Jose, USA

Case, J.B., (1967). The analytical reduction of panoramic and strip photography, *Photogrammetria*, p.127-141.

Galiatsatos N. (2004). Assessment of the Corona Series of Satellite Imagery for Landscape Archaeology: a Case Study for the Orontes Valley, Syria. Durham University, PhD Thesis.

Marchetti, N. (2006). Middle Bronze Age Public Architecture at Tilmen Höyük and the Architectural Tradition of Old Syrian Palaces. In: F. Baffi, R. Dolce, S. Mazzoni & F. Pinnock (edd.), Ina kibrat erbetti. Studi di Archeologia orientale dedicati a Paolo Matthiae, 275-308, Roma.

McDonald, R.A. (1995). Corona: Success for Space Reconnaissance, A look into the Cold War, and a Revolution for Intelligence. *Phot. Eng. and Rem. Sens.*, vol. 61, 6, pp. 689-720.

Neri S. (2008). Utilizzo metrico di immagini satellitari Corona, Tesi di Laurea specialistica, DISTART, Università di Bologna.

NRO - National Reconnaissaince Office (1967). *The KH-4B Camera System*.

Sohn, H.G., Kim, G., Yom, J. (2004). Mathematical modelling of historical reconnaissance Corona KH-4B imagery, *The Photogrammetric Record*, vol.19, issue 105, pp. 51-66.

Wiseman, J., El-Baz, F. (eds.) (2007). *Remote Sensing in Archaeology*, Springer.

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare tutti i membri della Missione Archeologica dell'Università di Bologna in Turchia, ed in particolare il Direttore Prof. Nicolò Marchetti, per la fruttuosa collaborazione e per avere fornito le immagini oggetto dello studio.

IL MONITORAGGIO DELLA SUBSIDENZA IN EMILIA-ROMAGNA: RISULTATI RECENTI

G BITELLI (*), F. BONSIGNORE (**), L. VITTUARI (*)

(*) DISTART, Facoltà di Ingegneria - Università di Bologna, Viale Risorgimento 2, 40136 Bologna.
gabriele.bitelli@unibo.it, luca. vittuari@unibo.it
(**) A.R.P.A Emilia-Romagna, Struttura Tematica di Ingegneria Ambientale, Vicolo Carega 3, 40121 Bologna.
fbonsignore@ia.arpa.emr.it

Riassunto

Nel 2005-07 la Struttura Tematica di Ingegneria Ambientale di ARPA, su incarico della Regione Emilia Romagna e in collaborazione con il DISTART - Università di Bologna, ha realizzato l'aggiornamento delle conoscenze geometriche relative al fenomeno della subsidenza relativamente all'intero territorio di pianura della regione, coperto dal 1999 da una rete di monitoraggio integrata (livellazione geometrica e GPS).

A tal fine è stato utilizzato il metodo PSInSAR^{TM} di analisi interferometrica di dati radar (tecnica sviluppata e brevettata dal Politecnico di Milano e commercializzata dalla società Tele-Rilevamento Europa). L'indagine interferometrica è stata estesa all'intero territorio di pianura della regione (circa 11.000 km^2) ed è stata confrontata ed integrata con i risultati ottenuti dal confronto di due campagne di livellazione geometrica di alta precisione condotte rispettivamente nel 1999 e nel 2005 sulla rete regionale di controllo della subsidenza. L'utilizzo del metodo satellitare ha permesso di acquisire un'informazione molto più diffusa e capillare rispetto al rilievo terrestre: un numero di punti di ben due ordini di grandezza superiore al numero dei capisaldi di livellazione presenti nella rete regionale.

In particolare, sulla base della disponibilità dei dati satellitari, sono state realizzate due diverse cartografie a curve isocinetiche: la prima, relativa al periodo 1992-2000, fa riferimento all'elaborazione dei dati provenienti dai satelliti dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA) ERS1 e ERS2, mentre la seconda riguarda il periodo più recente 2002-2006 e fa riferimento all'elaborazione dei dati provenienti dai satelliti Envisat (ESA) e Radarsat (Agenzia Spaziale Canadese).

Abstract

In 2005-07 the Thematic Structure of Environmental Engineering of ARPA, on behalf of the Emilia Romagna Region realized the updating of the geometrical knowledge concerning the phenomenon of the soil subsidence in cooperation with the DISTART Dept. of the University of Bologna. In particular in this paper, the PSInSAR^{TM} technique (developed by the Polytechnic of Milan and launched on the market through the society Tele-Rilevamento Europa) was used to monitor and measure the land surface subsidence of the whole territory of the Po River plain. A geometric levelling network extended to a regional scale was used to constrain and validate the interferometric dataset. The use of SAR allowed the acquisition of a more diffuse distribution of measured points with respect to the terrestrial surveys: the number of *Permanent Scatterers* (PS) was about two orders of magnitude greater than the number of the levelling benchmarks.

On the basis of images availability, two separate isokinetic contours maps of land subsidence vertical velocities were realized: the first, concerning the period 1992-2000, refers to the elaboration of the data coming from two satellites of the European Space Agency (ESA) ERS1 and ERS2, while the second concerns the most recent period 2002-2006 and refers to the elaboration of the data coming from the satellites Envisat (ESA) and Radarsat (Canadian Space Agency).

Le reti geodetiche per il monitoraggio della subsidenza in Emilia Romagna

Il monitoraggio della subsidenza a scala regionale è stato avviato dalla Regione Emilia-Romagna nel 1997 incaricando ARPA dell'istituzione della prima rete regionale di monitoraggio della subsidenza. La rete, progettata in collaborazione con il DISTART dell'Università di Bologna, è composta da due infrastrutture: una rete di livellazione geometrica di alta precisione costituita da oltre 2300 capisaldi e una rete GPS formata da circa 60 vertici. La rete di livellazione, in particolare, è stata messa a punto previa analisi dei capisaldi già presenti sul territorio (istituiti nel tempo da Enti diversi) in modo da poter utilizzare il maggior numero di serie storiche disponibili. Il suo rilievo ha permesso di attribuire ad ogni caposaldo una quota riferita, grazie al caposaldo assunto come origine, alla rete di livellazione di alta precisione IGMI.



Figura 1 – *Rete regionale di livellazione geometrica e GPS per il controllo dei movimenti verticali del suolo nella Pianura Padana*

Entrambe le reti sono state misurate per la prima volta nel 1999 (Bitelli et al., 2000). Alla parte di progetto, misura e elaborazione dei dati si è affiancata la realizzazione di un database relazionale in grado di gestire la grande mole di dati disponibili (capisaldi, campagne effettuate, risultati conseguiti, ecc.).

Nel 2002, su incarico della Regione, è stato ripetuto, ad opera del DISTART, il rilievo della sola rete GPS evidenziando i movimenti del suolo nel periodo 1999-2002 relativamente ai punti della rete stessa.

Nel 2005-07 ARPA, su incarico della Regione e con un contributo della provincia di Bologna, ha aggiornato le conoscenze geometriche del fenomeno tramite l'integrazione di due tecniche (fig. 2): la livellazione geometrica di alta precisione e l'analisi interferometrica di dati radar satellitari.

La campagna di livellazione geometrica, realizzata nel 2005, ha interessato un sottoinsieme della rete regionale (circa il 50% della rete), costituito da un migliaio di km di linee ed oltre 1000 capisaldi, ed è stata effettuata anche in funzione di supporto al rilievo radar (Bitelli et al., 2006).

L'analisi interferometrica, condotta dalla società Tele-Rilevamento Europa con la tecnica PSInSAR^{TM} sviluppata e brevettata dal Politecnico di Milano (Ferretti et al., 2001) si è estesa all'intero territorio di pianura della regione - circa 11.000 km^2. In particolare è stata condotta una elaborazione di tipo *standard* SPSA *low resolution* utilizzando i tre sensori sopracitati; l'elaborazione è stata compiuta per macro-aree o siti, successivamente connessi tra loro in una fase di *post-processing* che li ha legati ad un unico punto di riferimento. Si è trattato di un'elaborazione complessa, anche per la grande mole di dati e per la diversa consistenza di scene sia in termini di copertura spaziale che temporale (va rilevata per esempio la limitata disponibilità di dati Envisat nel periodo più recente). I dati principali forniti per ogni PS sono relativi alle coordinate, alla velocità media, alla coerenza ed alla deviazione standard.

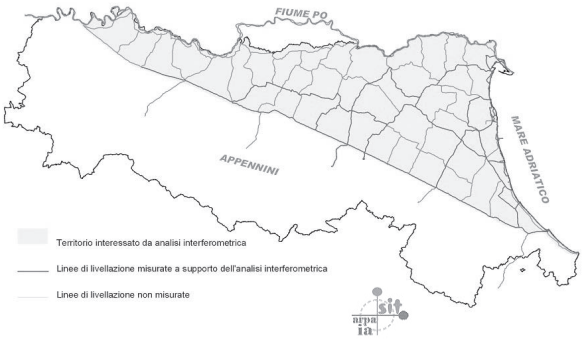


Fig. 2 – Area interessata dall'analisi interferometria PSInSAR™ *sovrapposta alla rete di livellazione geometrica misurata nel 2005.*

Verifica dell'analisi interferometrica

L'analisi interferometrica condotta sull'intero territorio di pianura costituisce allo stato attuale un caso di studio molto interessante, sia per l'impiego del dato SAR interferometrico differenziale a una scala regionale, sia per la disponibilità di un importante archivio di misure geodetiche, praticamente contestuale ad una parte del *dataset* radar, derivato dalle misure di livellazione geometrica di alta precisione. Il DISTART, oltre all'elaborazione e analisi numerica di queste ultime, ha effettuato attività di verifica ed omogeneizzazione dei *dataset* radar interferometrici, anche tramite il confronto con i risultati della livellazione geometrica, con il fine ultimo di predisporre carte di uguale velocità di abbassamento della pianura emiliano-romagnola per i periodi coperti dalle osservazioni radar. A questo fine si sono messe a punto ed eseguite diverse procedure di analisi, a scala generale o anche di dettaglio.

In figura 3 si riporta la distribuzione dei bersagli radar *permanent scatterers* (PS) Envisat-Radarsat utilizzati per l'analisi dei movimenti verticali nel periodo 2002-2006; la figura 4 mostra, in un'area di dettaglio, l'elevata densità di tali punti in rapporto a quella dei capisaldi di livellazione, normalmente distribuiti con interdistanza di un chilometro lungo le linee. Si evidenzia chiaramente la concentrazione dei PS nelle aree edificate.

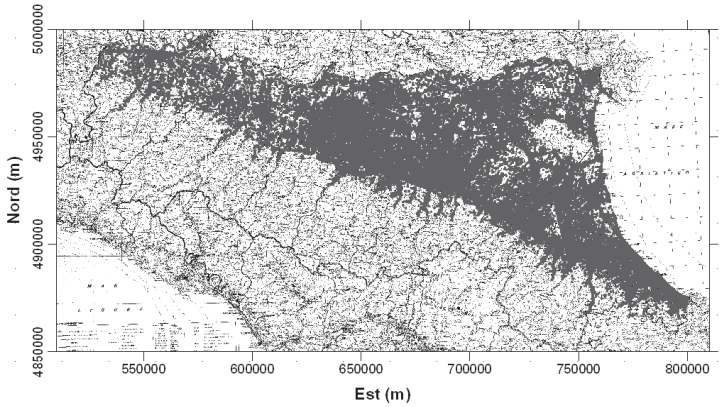


Figura 3 – Distribuzione di PS derivanti da immagini Envisat+Radarsat (2002-2006)



Figura 4 – L'immagine mostra la diversa densità dei PS rispetto ai capisaldi della rete di livellazione (simboli quadrati numerati), nonché la distribuzione spaziale dei primi, concentrata principalmente nelle aree edificate

Uno degli aspetti critici che accomuna le reti di livellazione geometrica ripetute nel tempo e l'interferometria SAR è la scelta del punto o dei punti origine delle quote da ritenersi fissi nelle successive elaborazioni. Questi punti di vincolo fissano il *datum* altimetrico di ciascuna campagna di misura e, se correttamente scelti, permettono di interpretare le indicazioni di movimento, per loro natura relative, in termini "assoluti"; qualora i riferimenti ritenuti stabili nel tempo di fatto non lo siano, i confronti tra successive misure possono contenere effetti sistematici indesiderati e fornire una indicazione non corretta del fenomeno di movimento verticale. Per quanto riguarda le campagne di livellazione geometrica 1999 e 2005, l'origine delle quote è stata fissata ad un valore determinato dall'Istituto Geografico Militare Italiano (IGMI) per un caposaldo posto a Sasso Marconi (Bologna), in area collinare e in posizione longitudinale pressoché baricentrica rispetto alla rete complessiva. Al termine della fase di elaborazione del dato PSInSAR^{TM}, che è stata in una prima fase condotta per ogni *dataset* separatamente per aree (siti), è stato selezionato per ciascun sito e sensore (ERS, Envisat, Radarsat) un solo punto di riferimento. La scelta del punto di riferimento per la tecnica interferometrica è stata effettuata sulla base di considerazioni legate prettamente all'elaborazione del segnale radar ma è stata confermata a posteriori sulla base di considerazioni esterne legate ai dati di livellazione.

E' stata poi condotta un'operazione di *screening* generale (per gli scopi e la consistenza del lavoro non aveva evidentemente significato un'analisi puntuale) dei singoli *dataset* radar al fine di evidenziare la presenza di bersagli non rappresentativi di reali spostamenti del suolo, in genere oggetti che appaiono come PS isolati caratterizzati da velocità significativamente diverse dai PS circostanti (ad es. silos metallici affetti da condizioni di carico variabili nel tempo, punti posti in campi aperti e senza evidenza di manufatti, ecc.). A tal fine si sono effettuate in ambiente GIS verifiche sulle velocità di movimento di questi PS in relazione all'intorno, sul valore di coerenza (dato legato al singolo *dataset* e connesso al numero di immagini elaborate ed alla distribuzione *baseline* temporali e spaziali, fattore quindi della rumorosità e dello scostamento da un comportamento lineare), sulla loro localizzazione geografica analizzata su ortofoto ad alta risoluzione, sulle serie storiche, ecc.

Si sono inoltre analizzati i parametri statistici associati alle velocità e le loro distribuzioni spaziali, anche in relazione ai diversi tipi di sensori utilizzati; i valori di deviazione standard associati alle velocità di movimento risultano in generale di minore qualità per il periodo più recente, anche in relazione alla minore disponibilità di immagini già rilevata.

Con specifici test condotti ancora in ambiente GIS si sono inoltre confrontate su punti praticamente coincidenti (o meglio in ambiti molto ristretti) le velocità dedotte da orbite ascendenti e discendenti

(dato Envisat), in modo da verificare l'ipotesi di sostanziale trascurabilità di movimenti orizzontali, al fine di poter ri-proiettare nella sola direzione verticale le velocità misurate lungo la *line-of-sight*.
Un aspetto critico è stato quello inerente l'individuazione di procedure di confronto tra i dati di velocità desunti per i PS mediante la tecnica PSInSAR^{TM} e quelli desunti sui capisaldi mediante livellazione geometrica di alta precisione. Si tratta infatti di dataset non coincidenti dal punto di vista planimetrico e la comparazione è stata effettuata mediante differenti tecniche, su base locale con metodi deterministici (per prossimità o attraverso l'attribuzione al caposaldo della velocità media dei PS ricadenti in un predeterminato raggio di cattura funzione del gradiente di velocità verticale) o mediante interpolazione con metodi geostatistici. Per il dato ERS non sono disponibili dati topografici riferiti allo stesso periodo e che siano con certezza omogenei e confrontabili su tutta l'area di indagine; per quanto riguarda invece i dati Envisat e Radarsat, avendo a disposizione dei dati di livellazione omogenei tra loro (derivati dalle due campagne regionali) e quasi contemporanei ai dati radar, è stato possibile verificare l'accordo medio dei risultati radar con le misure topografiche.
Il contenuto informativo del dato interferometrico è puntuale, mentre il prodotto che veniva richiesto era una mappa a copertura continua del territorio di pianura regionale; considerando l'alta densità spaziale dei PS, si è proceduto ad una interpolazione dei *dataset* componendo due griglie della velocità di movimento, rispettivamente per il periodo 1992-2000 e 2002-2006, al fine di fornire una lettura di insieme immediata del fenomeno della subsidenza alla scala dell'intera pianura emilano-romagnola; la figura 5 mostra la carta a curve isocinetiche relativa al periodo 2002-2006 ottenuta dall'elaborazione dei dati provenienti dai satelliti Envisat e Radarsat.
Va sottolineato che il risultato di questo lavoro va considerato alla scala regionale per cui è stato concepito, ed in questa direzione sono state adottate le tipologie di elaborazione PSInSAR^{TM} condotte; il prodotto ottenuto non può essere cioè spinto verso investigazioni specifiche locali che richiederebbero altre modalità di elaborazione e di analisi puntuale.

Analisi dei movimenti verticali del suolo
Dall'osservazione dei risultati ottenuti (Bonsignore, 2008) si evidenzia, nel periodo più recente (2002-2006), una sostanziale assenza del fenomeno nelle province di Piacenza e Parma, mentre alcune aree di media pianura in provincia di Reggio Emilia e Modena, tra cui Correggio, Carpi, Ravarino continuano ad essere interessate da abbassamenti medi intorno a 10 mm/anno. Un miglioramento rispetto agli anni '80-'90 si registra nella provincia di Bologna, sebbene tale territorio sia, in ambito regionale, ancora il più soggetto al fenomeno con una vasta area di oltre 600 km^2 che presenta abbassamenti medi intorno a 20 mm/anno; in particolare si distinguono alcune zone di massimo sprofondamento in corrispondenza circa di Sala Bolognese, Bonconvento (oltre 3 cm/anno), Cadriano, Lavino di Mezzo e Castel S. Pietro (circa 3 cm/anno). Una diminuzione degli abbassamenti si evidenzia anche nell'area tra Faenza e Cotignola e a nord di Savignano sul Rubicone con valori ora compresi tra 10 e 20 mm/anno.
Il territorio ferrarese presenta, in generale, movimenti molto piccoli con una progressiva accentuazione approssimandosi all'area deltizia con valori tra 5 e 10 mm/anno. Per il litorale, infine, non si registrano variazioni significative rispetto al periodo precedente continuando questo delicato paraggio a perdere mediamente poco meno di 1 cm di quota all'anno; i movimenti più consistenti si evidenziano in corrispondenza dei paraggi di Foce Reno e Foce Fiumi Uniti con valori intorno a 1,5 cm/anno e nell'entroterra tra Bellaria e Cesenatico a nord di Savignano sul Rubicone, con valori massimi intorno a 2,5 cm/anno.

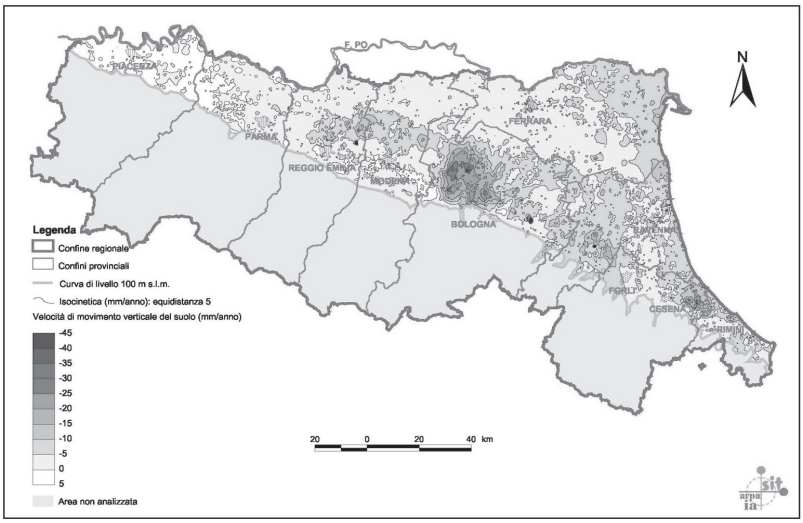


Fig. 5 – Carta a curve isocinetiche relativa al periodo 2002-2006 ottenuta dall'elaborazione dei dati provenienti dai satelliti Envisat e Radarsat.

Conclusioni

E' stata aggiornata la base informativa relativa al monitoraggio geometrico del fenomeno della subsidenza a scala regionale.

L'analisi effettuata, con i risultati raggiunti, ha confermato le potenzialità del metodo interferometrico per la mappatura del fenomeno (purché ovviamente contenuto entro le velocità massime rilevabili con questa tecnica per i vari sensori), nonché l'importanza dell'integrazione e complementarietà di questa metodologia con le altre tecniche topografiche della livellazione geometrica e della geodesia spaziale. Proprio l'integrazione e la complementarietà saranno la base su cui continuare questo tipo di monitoraggio.

Ciascuna delle tecniche utilizzate presenta infatti vantaggi e problematiche diverse ed in particolare per l'interferometria radar, la più recente, è necessario e di grande interesse approfondire l'indagine e la sperimentazione scientifica sulle tecniche ed i risultati, potendo fare riferimento anche a dati di altra fonte. Ciò sarà di particolare interesse anche in vista degli sviluppi che si possono già oggi intravvedere (tecniche con riflettori non permanenti, sviluppo di strategie diverse di elaborazione, disponibilità di nuovi sensori radar ad alta risoluzione e con maggiore frequenza di acquisizione, ecc.).

Bibliografia

Bitelli G., Bonsignore F., Unguendoli M. (2000), "Levelling and GPS networks for ground subsidence monitoring in the Southern Po Valley", *Journal of Geodynamics*, 30 (3): 355-369.

Bitelli G., Bonsignore F., Bortone. G., Vittuari L. (2006). Il monitoraggio della subsidenza a scala regionale in Emilia-Romagna. *Atti della giornata di studio Problemi di geoingegneria: estrazione di fluidi e subsidenza*, P. Macini e E. Mesini (a cura di), Geofluid 2006, Piacenza: 57-66.

Bonsignore F. (2008). Il monitoraggio in Emilia Romagna. *ARPA Rivista* XI (1), Supplemento: Il monitoraggio della subsidenza. Esperienze a confronto: 12-13

Ferretti A., Prati C., Rocca F. (2001), "Permanent Scatterers in SAR Interferometry" - *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 39, 1.

ESPERIENZE DI MAPPATURA DI AREE INTERESSATE DA INCENDIO MEDIANTE IMMAGINI MULTISPETTRALI

Gabriele BITELLI, Paolo CONTE

DISTART - Università di Bologna, gabriele.bitelli@unibo.it, paoloconte2005@libero.it

Abstract
The paper presents some first tests in classifying and mapping the areas which were affected by forest fires in south-eastern Sicily in June 2007. Moderate resolution ASTER imagery was mainly employed and the classifications obtained on the basis of different algorithms, employing spectral indices specially developed for this kind of application, were compared: BAI, NBR, MIRBI. After assessing each index by means of direct interpretation and application of appropriate threshold values, the method was optimized by their multiple thresholding. Processing was carried out on both single and time series images.

Introduzione
L'Italia è interessata ogni anno da innumerevoli fenomeni di incendio boschivo, concentrati soprattutto nelle regioni meridionali, con rilevanti impatti in termini di vite umane, di danni economici, ambientali e sociali. La legge 353/2000 prevede, per la conservazione e la difesa dagli incendi del patrimonio boschivo nazionale, la redazione di piani regionali per l'attuazione di misure di previsione, prevenzione e lotta attiva, oltre che l'effettuazione di attività di formazione, informazione ed educazione ambientale. Il telerilevamento può contribuire in maniera economica ed efficace in tutte le attività previste dalla legge-quadro in quanto permette, tra le altre applicazioni, di individuare e perimetrare le superfici bruciate su porzioni di territorio anche molto estese, in aree inaccessibili o pericolose, e con costi contenuti rispetto alle tecniche tradizionali di misura.

Materiali e metodi
Lo studio consiste nella valutazione di potenzialità e limiti di diversi algoritmi per la perimetrazione *post-fire* delle aree bruciate tramite l'utilizzo di indici spettrali proposti in letteratura quali BAI (Burned Area Index), NBR (Normalized Burn Ratio) e MIRBI (Mid-Infrared Bispectral Index). Sono stati seguiti due diversi approcci: mono-temporale, utilizzando una singola immagine post-fire per il calcolo degli indici da impiegare nella classificazione, e multi-temporale, valutando per ogni pixel le differenze tra i valori degli indici riferiti ad un'immagine successiva ed ad una precedente agli eventi.
Sono state utilizzate immagini satellitari multispettrali a moderata risoluzione ASTER, ed in particolare i prodotti AST_07XT (Aster On-Demand L2 Surface Reflectance); si sono usate le 3 bande del sottosistema VNIR (risoluzione geometrica 15 m) e le 6 bande SWIR (30 m, ricampionate a 15 m).
La sperimentazione ha interessato un'area della Sicilia centro-orientale che comprende soprattutto la provincia di Enna e che è stata interessata da numerosi incendi nel giugno 2007.
Nell'approccio mono-temporale è stata utilizzata una sola immagine *post-fire* acquisita il 28/06/07 alle ore 09.53.36; per la *change-detection* ad essa si è aggiunta un'ulteriore immagine *pre-fire* acquisita in un periodo scarsamente interessato da fenomeni di incendio boschivo (09/04/2007, ore 09.53.47). La fotointerpretazione delle immagini è stata condotta usando la combinazione di bande 8-3-2 (SWIR-NIR-R), sensibile alle aree percorse dal fuoco, e una simulazione Natural Color

Composite, che permette di risolvere le incertezze per superfici con risposta simile alle aree bruciate nell'IR.
Nel caso mono-temporale si sono effettuate tre differenti classificazioni binarie *pixel-based* mediante sogliature indipendenti degli indici BAI, NBR e MIRBI basate su un'analisi degli istogrammi di frequenza sull'immagine in relazione alle aree di incendio accertato o, per BAI e NBR, su valori di *threshold* ricavati da letteratura. Per cercare di risolvere gli errori di confusione caratteristici di ogni singolo indice si è quindi effettuata un'operazione di AND logico tra le tre classificazioni ottenute, assegnando ogni pixel alla classe di area bruciata solamente se esso è stato considerato come potenzialmente bruciato da tutti e tre gli algoritmi.
Nell'approccio multi-temporale si è eseguita la co-registrazione geometrica delle due immagini mediante 40 GCP e la normalizzazione radiometrica, cercando così di minimizzare le differenze sui valori di riflettanza di pixel invarianti. Si sono calcolati BAI e NBR sulle due immagini e quindi la loro differenza, ottenendo mappe di dBAI e dNBR. Sono stati scelti empiricamente i valori di soglia da applicare a questi ultimi in maniera analoga a quanto fatto nell'approccio precedente, applicando anche qui un'operazione di AND logico tra le due classificazioni ottenute.
L'ultima fase è stata quella della post-classificazione: sono stati applicati i filtri di *sieving* e *clumping* ed è stata poi operata la vettorializzazione su tutte e sei le classificazioni binarie effettuate (cinque con approccio mono-temporale ed una con approccio multi-temporale).

Risultati e discussione
Gli algoritmi di classificazione un singolo indice sono certamente i più rapidi, non necessitano di operazioni particolarmente complesse e risultano sufficientemente accurati, presentando però errori di confusione causati da superfici con riflettanza spettrale simile, nelle bande utilizzate, ad un'area percorsa dal fuoco. Per esempio, BAI (che peraltro dall'analisi degli istogrammi di frequenza fornisce sulle aree bruciate una varianza minore rispetto agli altri due indici) può includere tra le aree bruciate anche gli specchi d'acqua, mentre NBR riduce il fenomeno alle sole aree costiere ma risente di rilevanti errori di commissione con aree urbane e con diverse aree agricole (provocando una sovrastima); MIRBI, infine, risente di errori di confusione sia per i centri urbani che per gli specchi d'acqua, ma rispetto a NBR è più accurato sulle aree agricole.
L'algoritmo di sogliatura multipla con *threshold* fissi limita notevolmente gli errori di confusione dei metodi precedenti e permette delle mappature accurate solo con un lieve aumento della complessità operativa; le uniche incertezze riguardano incendi poco recenti o molto eterogenei. L'ottimizzazione del procedimento mediante lo studio statistico degli istogrammi e la disponibilità di dati di verità a terra per una scelta più accurata dei valori di soglia migliora leggermente il risultato della classificazione, ma al contempo presenta difficoltà operative notevolmente maggiori.
La classificazione secondo un approccio multi-temporale fornisce risultati qualitativamente simili all'algoritmo mono-temporale con sogliatura multipla, ma necessita di operazioni di preprocessamento piuttosto lunghe e complesse, ed inoltre presenta anch'essa alcuni errori di commissione.

Bibliografia
Chuvieco, E., Martin, M. P., Palacios, A. (2002): "Assessment of different spectral indices in the red- near- infrared spectral domain for burned land discrimination", *Int. J. of Rem. Sens.,* 23, 5103-5110
Epting, J., Verbyla, D., Sorbel, B. (2005): "Evaluation of remotely sensed indices for assessing burn severity in interior Alaska using Landsat TM and ETM+", *Rem. Sens. of Environment*, 96, 328-339
Lentile, L.A.D., et al. (2006): "Remote sensing techniques to assess active fire characteristics and post-fire effects ", *Int. J. of Wildland Fire*, 15, 319–345

RILEVAMENTO E STUDIO MULTI-TEMPORALE DELLA CUPOLA AFFRESCATA DI S. MARIA DEL MONTE IN CESENA ATTRAVERSO TECNICHE INTEGRATE

Gabriele VITELLI (*), Franco FARANDA (**), Giorgia GATTA (*),
Rocco MAZZEO (***), Antonio ZANUTTA (*)

(*) DISTART - Università di Bologna, (gabriele.bitelli, giorgia.gatta, antonio.zanutta)@mail.ing.unibo.it
(**) Soprintendenza per il Patrimonio Storico Artistico ed Etnoantropologico di Bologna, franco.faranda@tin.it
(***) Laboratorio Diagnostico di Microchimica e Microscopia - Università di Bologna, rocco.mazzeo@unibo.it

Riassunto

Nel settore dei Beni Culturali, a fini di studio o a supporto delle operazioni di conservazione o restauro di opere di interesse artistico o architettonico, può risultare di grande interesse affiancare alle attività di rilevamento e diagnostica dello stato di fatto di un'opera uno studio multitemporale, che ne descriva in modo oggettivo l'evoluzione o i cambiamenti più significativi subiti nel tempo.
Il presente lavoro riguarda la cupola, internamente affrescata, dell'Abbazia di S. Maria del Monte in Cesena (FC), danneggiata da un bombardamento nel 1944 ed in seguito restaurata, infine sottoposta recentemente ad un nuovo restauro. Lo studio è stato condotto in primo luogo attraverso l'integrazione di tecnologia laser a scansione terrestre con fotogrammetria digitale ed immagini fotografiche storiche. Il laser scanning ha permesso di documentare la consistenza geometrica della cupola attraverso la realizzazione di un DSM ad alta densità dell'oggetto; l'integrazione con fotogrammi storici e attuali ha permesso di texturizzare il modello ed ottenere prodotti di uso immediato, quali ortofoto e sviluppi, utili per un confronto multitemporale tra situazione post-bombardamento (1944), pre-restauro (2007) e post-restauro (2008). Dal confronto tra i primi due modelli è stato possibile evidenziare con esattezza la zona di lacerazione della cupola.
Ai rilevamenti di tipo geometrico si sono affiancate alcune esperienze di diagnostica basate sull'uso di immagini multispettrali, in particolare fluorescenza UV ed infrarosso, successivamente georeferenziate alle immagini nel visibile.

Abstract

In Cultural Heritage Science, studies related to the knowledge, preservation or restoration of works of art can be enhanced by multi-temporal investigations, in order to describe the evolution or the main changes occurred in a long lapse of time. The research can be carried out using new surveying technologies and historical documentation; different data and information can then be integrated. Eventually, diagnostic technologies can help researchers in validation of the results.
In this work we report some results of a study performed on the frescoed dome of the *S. Maria del Monte* Abbey, in Cesena (FC); the dome was bombarded in 1944, and restored both after the bombardment and recently in 2007. The research was carried out by means of integration of laser scanning, producing a high density surface model, digital photogrammetry and historical photography analysis. By means of ortophotos other representations, a multi-temporal comparison was performed among post-bombardment (1944), pre-restoration (2007) e post-restoration (2008) situations. The use of multi-spectral images (in particular UV fluorescence and infrared) allows a more accurate diagnosis of the fresco state and individuation of the region that has been restored after bombardments in 1944.

1. Introduzione

Nell'ambito dei Beni Culturali, il nostro Paese dispone di un ricchissimo patrimonio, artistico, architettonico e archeologico, che necessita di una appropriata conoscenza scientifica di carattere multidisciplinare a fini di studio, conservazione o restauro. Nell'ambito di questa conoscenza rientrano le procedure di rilevamento dello stato di fatto di un'opera, in primo luogo dal punto di vista geometrico e dei materiali, ma ad esse possono affiancarsi anche informazioni relative ad uno studio multi-temporale dell'oggetto di interesse, facilitato oggi dalla disponibilità di tecniche di elaborazione digitale derivate soprattutto dall'ambito della geomatica e della diagnostica per immagini.

Per quanto riguarda l'acquisizione di dati quantitativi attuali di carattere geometrico, è possibile rilevare l'oggetto attraverso tecniche classiche e moderne (in questo studio sono state sfruttate le tecniche di rilievo topografico, fotogrammetrico e con *laser scanning*); per quanto riguarda l'informazione storica, essa può provenire, come in questo caso, da una valida documentazione fotografica del passato. L'integrazione dei vari dati e delle diverse informazioni può avvenire tra dati attuali e dati pregressi, al fine di valutare l'evoluzione in un arco temporale, ma ovviamente anche tra dati contemporanei tra loro ma acquisiti con tecniche differenti. E' il caso, ad esempio, del contributo offerto dalle moderne tecnologie della diagnostica applicate al campo dei Beni Culturali, a validazione e complemento dei risultati ottenuti con le tecniche di rilevamento topografico e fotogrammetrico; nell'ambito di questo lavoro sono state in particolare effettuate alcune esperienze con immagini multispettrali.

Il caso di studio esaminato è la cupola, internamente affrescata, dell'abbazia di S. Maria del Monte in Cesena (FC); l'obiettivo iniziale della ricerca era quello di supportare le operazioni per il restauro che ha interessato la basilica nel 2007.

2. La cupola oggetto dello studio

La grande cupola dell'Abbazia Benedettina della Madonna del Monte in Cesena è stata di recente sottoposta ad un restauro, protrattosi per circa due anni ed effettuato con i finanziamenti congiunti della Soprintendenza al Patrimonio Storico, Artistico e Etnoantropologico di Bologna e della Fondazione Cassa di Risparmio di Cesena.

La cupola presenta superficie affrescata molto ampia, eseguita nello spazio di due anni e conclusa nel 1774; si tratta dell'ultima grande cupola di Romagna e probabilmente d'Italia. L'autore dell'opera è Giuseppe Milani, un artista di origini parmensi che ha operato incessantemente a Cesena e in Romagna, caratterizzando con la sua pittura la città. La cupola della "Madonna del Monte" è, tra le opere di soggetto religioso, la più significativa sul piano pittorico e analogamente complessa dal punto di vista iconografico.

L'immagine dell'Assunzione della Madonna svetta a 31 metri d'altezza e gli angeli che la circondano, difficilmente distinguibili dal basso, si caratterizzano per i ricchi pigmenti. Tutto è realizzato a buon fresco quasi certamente rifinito a secco; finiture sono andate perdute in una delle tante manutenzioni del ciclo. L'apoteosi mariana è preceduta da otto storie sul tamburo della cupola, sorretto dai quattro evangelisti. Il ciclo mariano è introdotto dalle Virtù cristiane, tutte caratterizzate iconograficamente, e dai Profeti distinguibili per i cartigli con versetti significativi.

La cupola aveva subito danni ingenti durante l'ultima guerra (figura 1) ed era stata oggetto di un intervento di restauro negli anni successivi. Da allora polvere, sporco, infiltrazioni, avevano offuscato l'intera superficie pittorica nascondendo così la bella qualità cromatica con la quale il pittore ha caratterizzato ogni figura e lo spazio infinito.



Figura 1 - Immagini storiche che documentano i danni subiti dalla basilica, e dalla cupola in particolare, durante i bombardamenti della Seconda Guerra Mondiale (1944).

3. Il rilievo della cupola

In vista dei lavori di restauro è stato eseguito da parte del DISTART, Università di Bologna, un rilievo dell'interno della cupola. Allo scopo si è fatto uso di tre tecniche: fotogrammetria, *laser scanning* e rilievo topografico con *total station*.

Per quanto riguarda la prima, si sono eseguite varie prese della cupola e dell'abside, mediante camera semimetrica e camera digitale precedentemente calibrata. Sono state eseguite sia prese libere sia prese con bicamera (mediante uso di apposita barra), in modo da mantenere un assetto pseudo-normale con base nota e fissa.

Per quanto riguarda il *laser* a scansione, è stato condotto un rilievo con strumento a tempo di volo, con portata massima di 350 m e risoluzione di 3 mm a 50 m, dotato di sensore immagine RGB. Per rilevare la cupola sono state eseguite cinque scansioni, in parte sovrapposte tra loro (fig. 2); numero di scansioni e punti di presa sono stati scelti in funzione dell'oggetto da rilevare e in modo tale da evitare i vari ostacoli presenti alla base della cupola (colonne, cornicioni, bassorilievi), ed il passo medio di scansione adottato è stato intorno ad 1 cm. Il dato in uscita consiste dunque in 5 nuvole di punti con associata informazione. Infine, per inquadrare il rilievo *laser scanning* in un sistema di riferimento opportuno, si è eseguito contemporaneamente un rilievo topografico, mediante *total station* munita di distanziometro ad impulsi, di alcuni target adesivi retroriflettenti, rilevati anche nella scansione laser.

4. Elaborazione dei dati

L'elaborazione del dato laser è consistita nella registrazione delle cinque nuvole di punti sulla prima, mediante i target retroriflettenti rilevati, referenziazione delle nuvole unite nel sistema di riferimento locale definito dal rilievo topografico, filtraggio dei dati, creazione di un DSM ("*Digital Surface Model*") e generazione della *mesh* mediante triangolazione (fig. 2), texturizzazione della *mesh* ed infine generazione di ortofoto ed altri prodotti. Il rilievo ha consentito tra l'altro di determinare i parametri geometrici principali della superficie ed il calcolo delle aree coinvolte dalle operazioni di restauro.

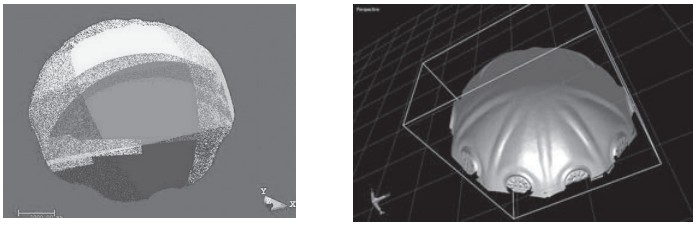


Fig. 2 - a sinistra: rappresentazione delle 5 nuvole di punti acquisite per la cupola, unite tra loro e mostrate con colori differenti; a destra: visualizzazione del DSM ottenuto.

Nel rilevamento dei Beni Culturali risulta di notevole interesse l'integrazione del dato fotografico con il modello geometrico 3D, mediante la superimposizione di immagini sulla superficie del DSM; una fotografia, infatti, ha un elevato contenuto informativo per quanto riguarda lo stato di conservazione del bene, il colore, lesioni o tracce di umidità, segni di degrado del materiale, ecc. Inoltre, disponendo di immagini relative a differenti periodi, è possibile effettuare un confronto che evidenzi in modo oggettivo le variazioni intercorse. A questo scopo, nel presente studio è stata eseguita una texturizzazione del DSM della cupola con tre differenti immagini riprese in tre diversi momenti della sua storia: un'immagine fotografica storica in bianco e nero relativa alla situazione post-bombardamento 1944 (fig. 1) e due immagini recenti che documentano la situazione pre-restauro (2007) e post-restauro (2008), queste ultime eseguite con camera calibrata.
In particolare, la texturizzazione del DSM della cupola con l'immagine storica di fig. 1 fornisce una rappresentazione 3D immediata e fortemente espressiva del danneggiamento subito dall'affresco del Milani a causa degli eventi bellici. In base ad essa è stato possibile, tra l'altro, delineare il perimetro delle zone lesionate e calcolarne l'area sul modello numerico (fig. 3); inoltre è stato possibile avere una documentazione su quale parte di struttura e di affreschi fu sottoposta al rilevante restauro che interessò la cupola in seguito al 1944 (v. par. 6).



Area	estensione
area A (vuoto)	1.14 m^2
area B (vuoto)	0.32 m^2
area C (danneggiamento affresco)	12.35 m^2

Fig. 3 - calcolo delle aree lesionate in seguito ai bombardamenti subiti dalla cupola nel 1944.

Oltre alla texturizzazione del modello, a partire dalle tre immagini a disposizione ed utilizzando il DSM ottenuto dal laser, sono state generate le corrispondenti ortofoto (fig. 4); essendo le tre ortofoto co-registrate tra loro, è possibile effettuare agevolmente analisi mirate sulle variazioni intercorse in corrispondenza delle stesse aree.

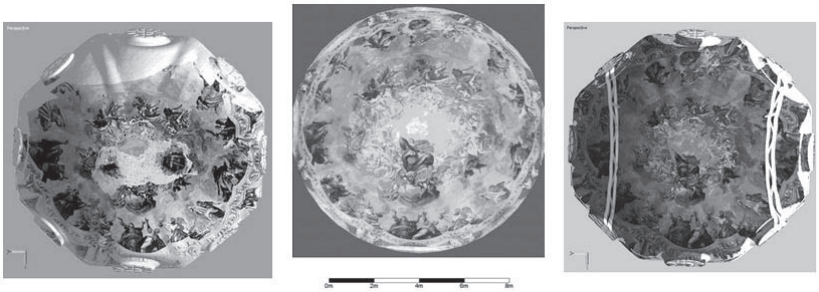


Fig. 4 - Ortofoto relative alle situazioni di danneggiamento da eventi bellici, di pre-restauro (2007) e di restauro completato (2008).

Per meglio valutare la forma della cupola, si è eseguita un'interpolazione della superficie con una sfera, in tre possibili configurazioni: sfera tangente alla cupola nel punto sommitale, sfera tangente

alla parte esterna delle finestre basali, sfera di miglior approssimazione. Quest'ultima ha fornito un raggio di 5.74 m. Sono state eseguite quindi sezioni della cupola e della sfera secondo piani paralleli a quello basale, al fine di evidenziare gli scostamenti tra la superficie reale della cupola ed una idealmente sferica, nel tentativo di supportare anche un'analisi delle aree di distacco più evidenti.
Sono infine in corso di elaborazione ulteriori prodotti grafici derivanti dallo sviluppo sul piano dell'area affrescata mediante tecniche di rappresentazione cartografica applicate ai dati di origine fotogrammetrica, considerando la superficie di *best-fit*.

5. Applicazione di tecniche diagnostiche non invasive in situ

Contestualmente alle misure topografiche, sono state condotte, da parte del Laboratorio M2ADL (*Microchemistry And Microscopy Art Diagnostic Laboratory*) dell'Università di Bologna, indagini diagnostiche di imaging multispettrale di una selezionata parte di affreschi interni alla basilica, al fine della caratterizzazione materica e dello stato conservativo dell'opera. Il concetto fondamentale su cui si basa l'imaging multispettrale risiede nella possibilità di discriminare i materiali costituenti il manufatto ed aventi diverse caratteristiche chimico-fisiche, tramite la loro peculiare interazione con onde elettromagnetiche appartenenti a regioni spettrali diverse da quella visibile. Il dispositivo di analisi prevede l'irraggiamento dell'opera con radiazioni che vanno dalla regione spettrale dell'Ultravioletto fino al vicino Infrarosso e la caratterizzazione della risposta in forma ottica e/o opto-elettronica. La camera multispettrale ARTIST® è dotata di sensore CCD che consente di registrare immagini ad elevata risoluzione impiegando come sorgenti lampade alogene a basso voltaggio per le riprese in luce visibile ed infrarossa, ed una lampada allo xeno con eccitazione a lunghezza d'onda prefissata pari a 365 nm per lo studio della fluorescenza visibile. Le immagini in riflessione visibile (380-800 nm) consentono di ottenere un'accurata rappresentazione a colori delle superfici dipinte. Ogni singola ripresa permette l'acquisizione di una immagine a colori scomponibile nelle tre bande RGB (rosso, verde e blu). Nella modalità infrarosso (IR1 e IR2) vengono raccolte informazioni spettroscopiche nella banda spettrale fra 850-1100 nm. Tale indagine consente la rivelazione di eventuali disegni preparatori in funzione della lunghezza d'onda impiegata, della composizione chimica e dello spessore degli strati. La modalità in falso colore (FCIR1-FCIR2) prevede l'acquisizione di immagini in 4 diverse bande (blu, verde, rosso, IR1 o IR2) e la loro ricombinazione nei tre canali RGB. La creazione di una immagine in falsi colori infrarossi permette un'efficace distinzione tra pigmenti dalla natura diversa (e dal caratteristico assorbimento o trasparenza nei confronti della radiazione IR) ma dalla cromia simile nella regione del visibile. In ultimo, tramite fluorescenza visibile (FLUO) vengono sottoposti ad esame gli strati più superficiale della policromia, aree o punti in cui sono presenti sostanze organiche (quali vernici, leganti, lacche). D'altro canto, la suddetta modalità di indagine consente la localizzazione e mappatura di precedenti interventi di restauro.
Relativamente all'opera in esame si è scelto di studiare in modo più sistematico la decorazione della cupola, dove erano già stati registrati ampi rifacimenti a seguito del crollo della struttura causato dai bombardamenti della Seconda Guerra Mondiale. È stata documentata, per tutta l'area interessata da interventi di restauro, una totale assenza di colori di fluorescenza. Particolarmente interessante risulta essere il volto dell'angelo (fig. 6) dove è visibile il limite raggiunto dall'intervento di rifacimento, esteso solo fino alla metà del volto. La restante porzione è invece caratterizzata da una fluorescenza intensa, imputabile alla stesura originale e difficilmente discriminabile tramite luce visibile.

6. Analisi di immagine e classificazione dei dati multispettrali

L'integrazione tra le diverse immagini multispettrali e tra queste e le immagini fotogrammetriche, eseguite nel campo del visibile, è possibile se si co-registrano tra loro questi dati. A tal fine, sono stati condotti alcuni test su zone campione dell'affresco, stabilendo una piccola rete di punti di appoggio, calcolata per via topografica, che consentisse di avere le immagini dei diversi tipi ricampionate e perfettamente a registro tra loro.

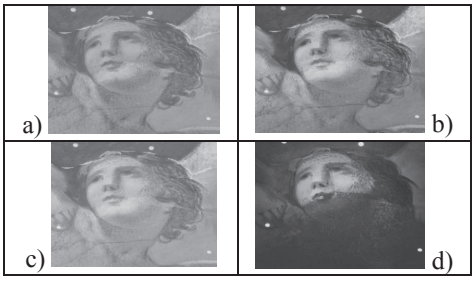


Figura 6 - a) immagine nel campo del Visibile (RGB); b) Riflettografia Infrarossa (IR1); c) immagine a Falso Colore (FCIR1); d) immagine di Fluorescenza Visibile (FLUO) con eccitazione ultravioletta

Questi prodotti (RGB, fluorescenza, infrarosso) sono stati poi analizzati dal punto di vista spettrale utilizzando software specifico per classificazione di immagini telerilevate. E' stata anche eseguita una analisi delle componenti principali per individuare, di ogni tipo, la componente più significativa e generare una nuova immagine caratterizzata dal maggior contenuto informativo delle bande spettrali. Tutti questi prodotti sono stati sottoposti a classificazione supervisionata con il criterio di massima verosimiglianza, ottenendo risultati di notevole interesse, per esempio nella georeferenziazione di porzioni restaurate.

7. Conclusioni

La ricerca condotta sulla cupola dell'Abbazia del Monte in Cesena costituisce un esempio, nell'ambito dei Beni Culturali, di integrazione di dati e informazioni differenti, provenienti sia dalle più diffuse tecniche geomatiche (*laser scanning*, fotogrammetria e rilievo topografico) che da indagine diagnostica e da documentazione fotografica storica.
Attraverso il dato laser e fotogrammetrico, associato a quello topografico, si è documentata la consistenza geometrica della cupola, mediante la creazione di un DSM. L'integrazione con immagini storiche e recenti della cupola, condotta mediante texturizzazioni, ortofoto e sviluppi, ha quindi permesso un confronto visivo multitemporale tra diversi stadi nella storia della cupola. Infine, le moderne tecniche di diagnostica multispettrale, insieme alla possibilità di fornire importanti indicazioni al restauratore in merito a materiali e pigmenti utilizzati nell'affresco, possono supportare i risultati di analisi multi-temporali relative alle aree danneggiate e, se sottoposte a procedure di *data-fusion* e classificazione di immagini, potrebbero produrre nuovi dati per aumentare il livello di conoscenza nell'indagine preliminare su un'opera d'arte.

Ringraziamenti

Si ringraziano la società Geotop di Ancona per la fase di acquisizione dei dati con laser a scansione, A. Castellani che ha eseguito la Tesi di laurea Specialistica e lo Studio di Restauro M. Dell'Amore di S. Lazzaro di Savena (Bo) che ha realizzato il restauro della cupola.

CLASSIFICAZIONE DI IMMAGINI MULTISPETTRALI VERSO LA REALIZZAZIONE DI UNA CARTA DELLA VEGETAZIONE PER LA RISERVA DI NADUNG'ORO (TANZANIA)

Gabriele VITELLI (*), Giovanna PEZZI (**,***), Ivano PINO (*), Giulia SALVINI (****)

(*) DISTART - Università di Bologna (gabriele.bitelli, ivano.pino)@mail.ing.unibo.it
(**) CIRSA - Università di Bologna, Ravenna
(***) BES - Dipartimento di Biologia Evoluzionistica Sperimentale - Università di Bologna giovanna.pezzi2@unibo.it
(****) Institute for Environmental Studies, Vrije Universiteit, Amsterdam, The Netherlands giulia_salvini@yahoo.it

Riassunto

La riserva naturale di Nadung'oro (Tanzania, Africa), posta sulle pendici occidentali del Monte Meru (4562 m), presenta un ambito altitudinale compreso tra i 1500 e i 2400 m. Al fine di valutare la distribuzione dei tipi di vegetazione a maggiore valore conservazionistico e per ripartire il territorio in ambiti a differente gestione e tutela è necessario disporre di una carta della vegetazione, per la cui realizzazione è indispensabile ricorrere alla classificazione di immagini multispettrali. Nel caso in questione è stata utilizzata un'immagine ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) a moderata risoluzione (risoluzione a terra 15 m nella componente VNIR), sottoposta ad un processo preliminare di raddrizzamento differenziale (ortorettifica) per la cui esecuzione si è utilizzato il modello digitale globale di elevazione SRTM.

Una delle principali difficoltà del lavoro è stata legata alla localizzazione ed alla ridotta numerosità dei punti di controllo a terra disponibili, dovuta ai problemi logistici per la loro acquisizione. La classificazione si è basata su 11 classi/tipi di vegetazione individuati sulla base delle specie dominanti, ed è stata condotta secondo una metodologia ibrida "supervisionata/non supervisionata" in grado di usufruire dei benefici di entrambi gli approcci; dopo una prima classificazione non supervisionata con tecnica Isodata, per l'assegnazione delle classi/tipi di vegetazione sono stati utilizzati operatori di analisi spaziale (*buffer* ed *overlay*) in ambiente GIS, e si è infine proceduto ad una classificazione supervisionata (massima verosimiglianza) dell'immagine. La stima dell'accuratezza della classificazione ottenuta potrà essere meglio effettuata con la disponibilità di ulteriori punti di controllo a terra.

Abstract

The natural reserve of Nadung'oro (Tanzania, Africa), lying on the western slope of Mount Meru (4562 m), is characterized by an altitude ranging from 1500 to 2400 m. In order to evaluate the distribution of vegetation types and to share the territory of the reserve into areas characterized by different types of management and protection, it's necessary to provide a vegetation map, necessarily obtained by classification of multispectral satellite images. In our case an ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) image at moderate resolution (VNIR 15 m) was used; it was pre-processed by a differential rectification (orthorectification) realized using the global digital elevation model SRTM. One of the main difficulties of the job has been related to the position and the small number of the ground control points, due to the logistic problems for their acquisition. The classification has been based on 11 classes of vegetation types chosen according to the dominant species, and was carried on using an hybrid "supervised/unsupervised" methodology, trying to use the benefits of both the approaches; after a first unsupervised classification using Isodata technique, for the class/vegetation type

assignment spatial analysis operators were used (buffer and overlay) in a GIS environment, and lastly a supervised image classification (maxlike) was carried on. Other ground sampling points are needed in order to assess the accuracy of the obtained classification.

Introduzione

La riserva naturale di Nadung'oro (Tanzania, Africa) ha un'estensione di 513 ha ed è localizzata sulle pendici occidentali del Monte Meru (4562 m), vulcano attivo posto a circa 70 km ad ovest del monte Kilimanjaro, con un ambito altitudinale compreso tra i 1500 e i 2400 m (fig. 1).

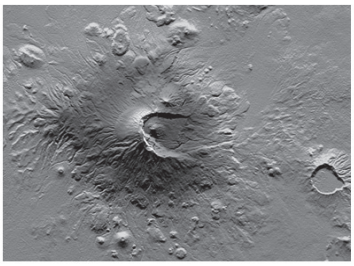


Figura 1 – Mt. Meru, shaded relief

Una prima carta della vegetazione della riserva, realizzata per valutare la distribuzione dei tipi di vegetazione a maggiore valore conservazionistico e per ripartire il territorio in ambiti a differente tutela e modalità di gestione, è stata generata dall'analisi di un'immagine satellitare (fig. 2, immagine a sinistra) del sensore multispettrale ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) acquisita nel mese di febbraio 2003, che corrisponde localmente al massimo del periodo vegetativo.

E' stata utilizzata l'immagine nadirale della banda NIR per l'individuazione visiva di strutture nella fase di correzione geometrica dell'immagine, mentre per la classificazione spettrale sono state impiegate tutte le bande ad eccezione di quelle dell'infrarosso termico (TIR).

L'informazione a terra è stata acquisita con georeferenziazione diretta mediante GPS di punti posti nei tipi di vegetazione ritenuti significativi per lo studio in corso; tale operazione, condotta in affiancamento alle attività svolte dall'ong OIKOS di Milano, è stata caratterizzata da problemi logistici che hanno limitato significativamente il numero di punti di controllo acquisiti e la loro disposizione spaziale, rendendo quindi più difficoltosa la fase di elaborazione del dato telerilevato.

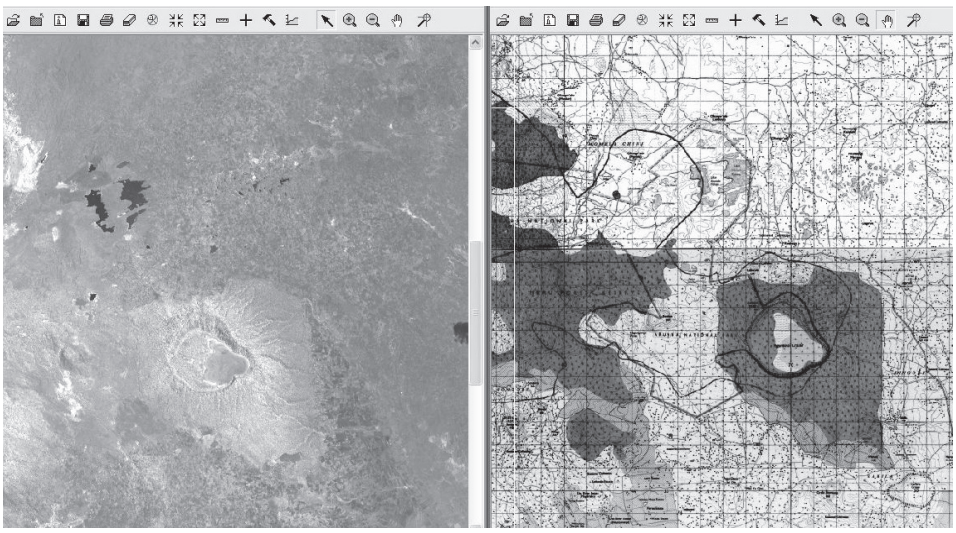


Figura 2: La georeferenziazione dell'immagine ASTER (sinistra), con riferimento al mosaico della cartografia OSD convertita in forma raster (destra)

Materiali e metodi

La carta della vegetazione è stata realizzata a partire da un'immagine ASTER. Il sensore ASTER orbita a bordo di TERRA, un satellite lanciato nel Dicembre 1999 come parte del NASA *Earth*

Observing System (EOS); una scena ASTER copre 61.5 x 63 km e contiene dati di 14 bande spettrali acquisite da tre sottosistemi strumentali con differenti risoluzioni a terra. Sono presenti tre bande nella porzione del visibile e dell'infrarosso vicino (VNIR, 0.52-0.86 μm, 15 m di risoluzione), sei bande nell'infrarosso medio (SWIR, 1.60-2.43 μm, 30 m di risoluzione) e cinque bande nell'infrarosso termico (TIR, 8.12-11.65 μm, 90 m di risoluzione). Il sottosistema VNIR nella banda NIR (vicino infrarosso) consente inoltre l'acquisizione di coppie stereoscopiche utilizzate per la realizzazione di modelli digitali di elevazione.
L'immagine ASTER è stata orto-rettificata utilizzando il modello digitale di elevazione (DEM) globale SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*, 90 m di risoluzione a terra), al quale viene associata un'accuratezza verticale pari a ± 16 m (LE90) e un'accuratezza posizionale di circa ± 20 m (CE90) (Rabus et al., 2003). Il DEM ricavato dalla coppia stereoscopica di immagini ASTER nel vicino infrarosso non è risultato infatti di qualità soddisfacente per l'area di studio, sia per l'elevata escursione nella quota che per problemi legati alla luminosità della scena.
In assenza di dati di migliore qualità, l'ortoimmagine è stata georeferenziata utilizzando 12 punti di controllo a terra (*Ground Control Points*, GCPs) per l'intera immagine ASTER e 7 localmente per l'area di interesse. I GCPs sono stati dedotti da una cartografia 1:50.000 prodotta nel 1990 dall'*Overseas Surveys Directorate (OSD)* in proiezione UTM, sferoide *Clarke 1880*, *Datum New1960 Arc*, opportunamente convertita in forma raster (Figura 1, immagine a destra).
Ai fini della classificazione della vegetazione, è stata effettuata una ricognizione a terra mediante ricevitore GPS palmare con il campionamento di 51 punti, per i quali è stata stabilita l'appartenenza a tipi di vegetazione definiti in base alle specie dominanti (Tabella 1). Purtroppo non è stato possibile ad oggi pervenire ad un numero superiore di punti in considerazione dei notevoli problemi logistici, ed evidentemente una disponibilità molto maggiore di punti noti a terra potrà nel futuro consentire un affinamento nella elaborazione effettuata.
Considerando l'errore sul posizionamento assoluto del GPS (sono state realizzate comunque acquisizioni di lunga durata mediando la posizione finale), gli errori associati alla carta di base ed alla coregistrazione, l'accuratezza sui punti campionati può essere valutata intorno ai 25 m.
Per la classificazione sono state sperimentate due diverse metodologie, la classica tecnica supervisionata a massima verosimiglianza ed un metodo di classificazione ibrida "supervisionata/non supervisionata" (Fleming et al., 1975; Richards, 1993; Messina et al., 2000), in grado di sfruttare i benefici portati da entrambi gli approcci; quest'ultimo verrà descritto nel seguito.
Va ricordato che in una classificazione supervisionata l'operatore è responsabile della definizione delle aree di addestramento, compito difficile nel caso in esame considerando la variabilità spaziale dei tipi di copertura, la scarsa interpretabilità del dato a 15 m di risoluzione e l'incertezza di circa 2 *pixel* (VNIR) sulla co-registrazione dei punti campionati.
Si è dunque proceduto secondo le seguenti fasi:

1. Classificazione non supervisionata per determinare statisticamente le classi spettrali in cui l'immagine è suddivisa;
2. Test di separabilità per la selezione e l'unione delle classi spettrali;
3. Assegnazione delle classi di campionamento alle classi statistiche ricavate dal test di separabilità;
4. Classificazione supervisionata di massima verosimiglianza addestrando l'algoritmo con il set delle classi statistiche campionate.

Per la classificazione non supervisionata è stato adoperato un algoritmo Isodata (20 iterazioni, 255 classi, convergenza 0.98) su 9 bande dell'immagine (VNIR-SWIR); le elaborazioni sono state condotte utilizzando la versione 9.1 del software ERDAS Imagine. Nella successiva fase sono stati calcolati i valori di "divergenza trasformata" (TD, *Transformed Divergence*) per tutte le possibili coppie di classi spettrali. Si è dunque ottenuto statisticamente un valore della TD di soglia al di sopra del quale due classi sono state considerate separabili; se una stessa classe accoppiata con diverse altre classi restituisce un valore basso di TD, è probabile che essa sia poco significativa e quindi eliminabile. Il test di separabilità ha definito 22 classi statistiche distinte.

Tipo di vegetazione	Sigla
Nuxia-Hagenia Montane Forest	Nhf
Cordia-Albizia Dry Forest	Caf
Acacia Treeland	At
Dodonea Treeland	Dt
Eucalyptus Treeland	Et
Dodonea Shrubland	Ds
Vernonia Shrubland	Vs
Cynodon Grassland	Cg
Psiadia Shrubland	Ps
Pine Plantation	Pp
Cultivation	Mc
Suolo privo di vegetazione per cause antropiche	Bs

Tabella 1: Tipi di vegetazione cartografati nella riserva di Nadung'oro

Per l'assegnazione ai tipi di vegetazione le problematiche insorte sono state principalmente due:

1. alcune aree campionate avevano un'estensione ridotta (1000 m^2) rispetto alla precisione nel rilevamento dei punti campionati ($\pm$ 25 m);
2. per questioni di copertura del segnale GPS i punti di campionamento relativi ad aree forestate compatte non erano stati rilevati all'interno delle stesse, ma in zone periferiche esterne ad esse adiacenti.

Si è dunque reputata opportuna la creazione, in ambiente GIS, di aree *buffer* generate intorno ai punti rilevati in situ (figura 3). In relazione alle caratteristiche fisionomico-strutturali dei tipi di vegetazione, ovvero alla inaccessibilità/accessibilità dei siti con il ricevitore GPS, le aree buffer sono state realizzate di forma circolare (75 m di raggio) o ad anello (15 m il raggio interno e 90 m quello esterno). É stato dunque sviluppato un algoritmo in ambiente Matlab per l'analisi delle aree di *overlay* tra l'immagine classificata (opportunamente vettorializzata) ed i buffer di campionamento; tale analisi è stata quindi finalizzata all'assegnazione dell'habitat più probabile alla classe spettrale corrispondente.

Il tipo "suolo privo di vegetazione per cause antropiche" (*bare soil*) è stato assegnato per interpretazione visiva dell'immagine; sono state rimosse le classi Cultivation e Pteridium Fernland per problemi rispettivamente di non coerenza temporale con l'immagine o di indeterminatezza dovuta ad aree ridotte. Una volta individuate le corrispondenze, le firme spettrali dei tipi di vegetazione sono state processate per la classificazione supervisionata dell'immagine.

È stato utilizzato un algoritmo di classificazione a massima verosimiglianza (*maxlike*) con soglie di tolleranza pesate in base al numero di punti campionati per ciascun tipo di vegetazione. Per rimuovere i pixel *random* osservati nelle classi principali, si è applicato un algoritmo di raggruppamento con unità minima di mappa (MMU) pari a 0.36 ha (4x4 pixel). L'immagine classificata è stata infine esportata nel formato ESRI *shapefile* (figura 4).

Purtroppo, per quanto sopra esposto, non è stato ancora possibile effettuare una effettiva validazione dei risultati ottenuti, che potrà essere compiuta disponendo di un numero superiore di punti noti a terra.

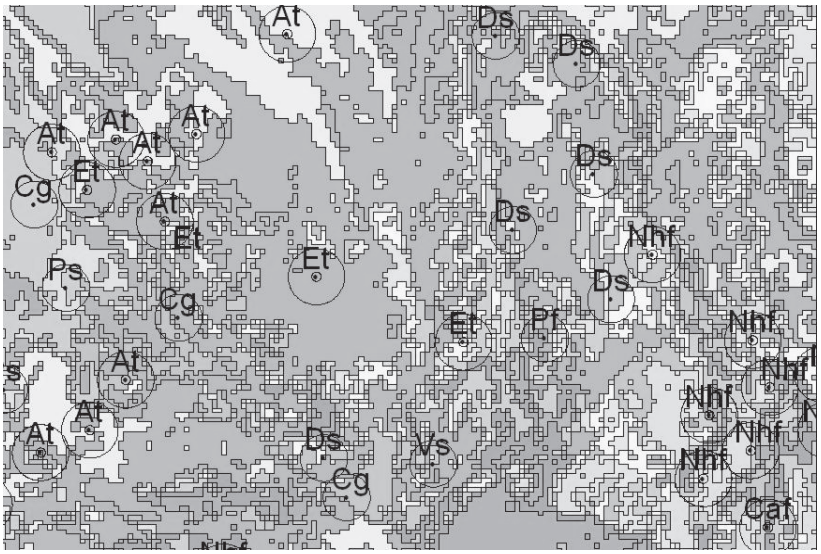


Figura 3: Visualizzazione in ambiente GIS delle aree di buffer e della classificazione secondo le classi spettrali risultanti dal test di separabilità. Per il significato delle sigle si veda Tabella 1.

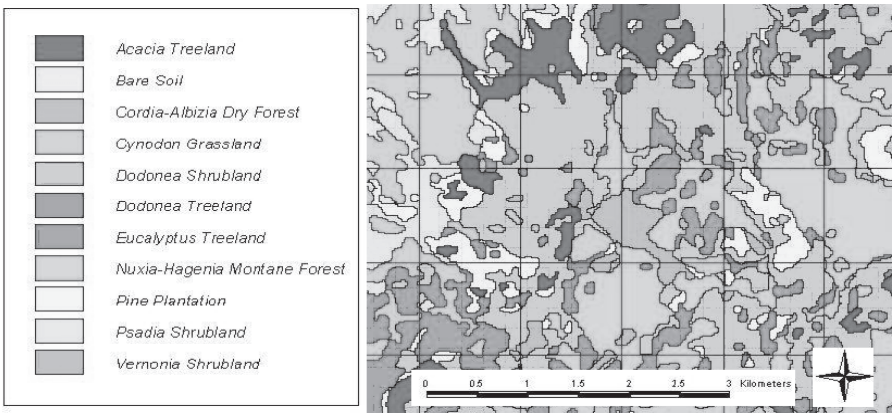


Figura 4: Stralcio della Carta della vegetazione della riserva di Nadung'oro

Considerazioni e sviluppi futuri

L'analisi delle immagini ASTER per la realizzazione della carta della riserva di Nadung'oro ha dovuto confrontarsi con la tipologia delle coperture vegetali, informazione che era inesistente per l'area considerata. Si è adottata una descrizione spaziale dell'eterogeneità della vegetazione relativamente semplice e legata all'esistenza di specie di facile riconoscimento, che caratterizzano i sistemi ambientali.

La procedura *pixel-based* di classificazione ibrida è risultata altamente automatizzata, minimizzando l'intervento dell'operatore e affidandosi quanto più all'analisi statistica di banda e alle applicazioni GIS. Pur in presenza di una forte carenza di informazioni di base, si è operato cercando di applicare le tecniche digitali in maniera sistematica, consistente e trasparente, con

l'obiettivo di ridurre per quanto possibile l'inconsistenza risultante dall'interpretazione visiva (Wulder et al. 2004).
L'obiettivo futuro è di considerare altri strati informativi territoriali a supporto dell'uso dei dati satellitari e della mappa di vegetazione determinata, e soprattutto di rilevare altri punti di campionamento *in situ* per la stima dell'accuratezza della classificazione utilizzata e della sua completezza ed esaustività. La carta potrà essere uno strumento di lavoro utile per delimitare vegetazioni di cui si vorrà studiare in dettaglio la composizione specifica e le variazioni nel tempo.

Ringraziamenti
L'immagine ASTER è stata fornita nell'ambito di *grant* NASA. La ricerca sulla riserva di Nadung'oro è stata effettuata in affiancamento di attività condotte dall'Istituto OIKOS ong (Milano).

Bibliografia
Fleming M. D., Berkebile J. S., Hoffer R. M. (1975), "Computer aided analysis of Landsat-1 MSS data: a comparison of three approaches including a modified clustering approach", Laboratory for Application Remote Sensing, West Lafayette, Information Note 072475
Messina J.P., Crews-Meyer K.A., Walsh S.J. (2000), "Scale Dependent Pattern Metrics and Panel Data Analysis as Applied in a Multiphase Hybrid Land Cover Classification Scheme", *Proceedings of the American Society of Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) Conference*, Miami, Florida, USA
Rabus B., Eineder M., Roth A., & Bamler R. (2003), "The Shuttle Radar Topography Mission - a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 57(4): 241– 262
Richards J. A. (1993), *Remote Sensing Digital Image Analysis: an Introduction*.
Wulder, Michael A., Caren C. D. and Erickson B. (2004), Natural Resources Canada, Canadian Forest Service Pacific Forestry Centre, Victoria, British Columbia, Information Report, BC-X-398.

IL SISTEMA DI MONITORAGGIO QUALI-QUANTITATIVO DEI CORPI IDRICI SOTTERRANEI DELLA PUGLIA: PROGETTO TIZIANO

Francesco BITETTO (*), Roberto POLIERI (*), Vincenzo BARBIERI (**), Rosalia BALICE (**)

(*) Regione Puglia - Settore Lavori Pubblici, Via delle Magnolie Z.I., I-70026 Bari, Tel. 0805407819,
email: f.bitetto@regione.puglia.it - r.polieri@regione.puglia.it
(**) Planetek Italia Srl, Via Massaua 12, I-70123 Bari, Tel. 0809644200, fax 0809644299,
email: barbieri@planetek.it - balice@planetek.it

Riassunto

Il progetto TIZIANO, avviato dall'ufficio del Commissario Delegato Emergenza Ambientale in Puglia, ha come obiettivo la realizzazione di un Sistema di Monitoraggio dei corpi idrici sotterranei della Regione Puglia, in accordo con il D.Lgs 152/99 che ha imposto l'aggiornamento e la caratterizzazione dello stato delle risorse idriche attraverso il loro monitoraggio quali-quantitativo.

Il progetto prevede la realizzazione di un sistema di monitoraggio su tutta la Puglia attraverso circa 450 corpi idrici (pozzi), con rilevazioni in automatico e/o mediante l'esecuzione di indagini sul campo, completato con attività di rilievo aereo e campagne a mare.

Il progetto contribuisce a creare Parametri Indicatori di Qualità, utili a delineare un quadro conoscitivo esaustivo della qualità delle acque sotterranee della Puglia, analizzati e verificati dal CNR-IRSA di Bari. Il monitoraggio viene effettuato tramite l'acquisizione, l'elaborazione e la resa dei dati di misura, con il supporto di un Sistema Informativo Territoriale (SIT) basato sul modello **O**ggetti **S**trutture (Territoriali) e **S**oggetti (OSS) di riferimento territoriale per la rappresentazione alfanumerica e cartografica dei dati ambientali. Il SIT è integrato a strumentazione di rilevazione e misura, strumenti informatici di gestione e diffusione dei dati basati sulle tecnologie ArcGIS ESRI e sul sistema WebGIS Cart@net di Planetek Italia.

II SIT per il monitoraggio delle acque sotterranee della Puglia è stato realizzato da Planetek Italia nell'ambito di un'Associazione Temporanea di Imprese (Planetek Italia, Italprogetti, Loran, ETG, Geokarst Engineering, Nautilus) mandataria LaboratoRI di Roma.

Abstract

The goal of the project called TIZIANO, started by the Directorate for Environmental Emergency in Apulia, is the establishment of a Monitoring System for groundwater bodies of the Apulian Region, in accordance with D. Lgs. 152/99 which imposed the update and characterisation of the state of water resources through their qualitative and quantitative monitoring.

The project has planned the creation of a monitoring system over 450 bodies of water (wells) across Apulian territory, equipped with automatic surveys and / or through the execution of field surveys, and completed with air and sea monitoring campaigns.

The project allows the creation of Quality Parameters indicators. These parameters are needed to outline an exhaustive reference knowledge framework of groundwater quality in Apulia and are analysed and verified by the CNR-IRSA of Bari. The monitoring activity is carried out through the collection, processing and provision of measure data, with the support of a Geographic Information System (SIT) based on the model **O**ggetti **S**trutture (Territoriali) e **S**oggetti (OSS) as territorial reference for the geographical representation of environmental data. The SIT has been integrated with detection and measurement tools, and with information management and dissemination tools

based on ESRI ArcGIS technologies integrated with the Planetek Italia's WebGIS system Cart@net.

The SIT for the monitoring of Apulian Underground Waters has been developed by Planetek Italia and committed to a Temporary Business Association (Planetek Italia, Italprogetti, Loran, ETG, Geokarst Engineering, Nautilus). Project Coordinator is LaboratoRI, Rome.

Introduzione

L'entrata in vigore del D.L.gs152/99 ha imposto l'aggiornamento e la caratterizzazione dello stato delle risorse idriche attraverso il loro monitoraggio quali-quantitativo, finalizzato alla individuazione dei corpi idrici che necessitano di particolari interventi volti alla tutela ed al recupero.

Il complemento di Programmazione del POR Puglia 2000-2006, nell'ambito della misura 1.3 "Interventi per la difesa del suolo", dedica la specifica Area di Azione 4 al "Miglioramento delle conoscenze di base, adeguamento ed ampliamento del sistema di monitoraggio del suolo, dei corpi idrici superficiali, sotterranei e costieri". In questo contesto è stato concepito il progetto TIZIANO per la realizzazione di un Sistema di monitoraggio qualitativo e quantitativo dei corpi idrici sotterranei della Regione Puglia, che si inquadra nella visione della gestione dell'emergenza all'interno del processo di pianificazione dell'uso della risorsa idrica.

Il tema specifico della definizione del "Sistema di monitoraggio qualitativo e quantitativo dei corpi idrici sotterranei della regione Puglia" viene inquadrato nella logica più ampia che coinvolge il "flusso informativo" e le "esigenze" di tipo programmatico, per rispondere ai requisiti fondamentali di funzionalità di un servizio permanente di controllo della risorsa idrica sotterranea, che sarà d'ausilio alla messa a punto di eventuali interventi necessari al recupero e/o salvaguardia delle falde.

Il servizio prevede in particolare l'esecuzione di indagini finalizzate alla determinazione dei parametri indicatori di qualità così come previsto dal D.Lgs. 152/99, che permettono di delineare un quadro conoscitivo più esaustivo della qualità delle acque sotterranee della Puglia, su un modello di spazializzazione realizzato dal CNR-IRSA di Bari..

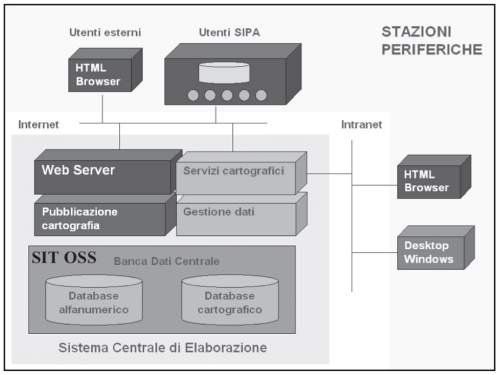
L'universo di indagine è quindi costituito dall'insieme di dati quali-quantitativi ottenuti: automaticamente da 135 pozzi strumentati; attraverso rilievi, campionamenti in situ e analisi di laboratorio effettuati sui pozzi strumentati e su ulteriori circa 300 pozzi non strumentati, a copertura dell'intero territorio regionale.

L'attività di monitoraggio prevede anche un rilievo aereo, coadiuvato da una campagna a mare per un riscontro diretto e una migliore interpretazione dei dati telerilevati. Il rilievo aereo consente di evidenziare le modificazioni indotte dalle sorgenti costiere sul regime di deflusso in seguito all'intensa attività di emungimento (estrazione dei liquidi dal sottosuolo) delle falde per uso irriguo, nonché le modificazioni indotte da eventuali scarichi a mare sulla clorofilla e la torbidità delle acque.



Fig.: sistema di supporto alle attività di ricognizione acquiferi.

L'intero processo operativo di monitoraggio delle acque sotterranee è supportato da un Sistema Informativo Territoriale (SIT), integrato a strumenti applicativi di gestione e diffusione dei dati, basati su tecnologie di georeferenziazione (WEBGIS). I dati anagrafici dei punti di prelievo ed i valori delle misurazione effettuate sui punti stessi, vengono catalogati ed archiviati nel SIT, secondo una relazione biunivoca definita dal modello **O**ggetti **S**trutture (Territoriali) e **S**oggetti (OSS) territoriali del SINAnet.



Il sistema applicativo di pubblicazione dati del SIT consente estrarre tutti i dati raccolti/elaborati e fornire quindi ogni tipo di informazione analitico-statistica, sui rilievi e sulle analisi condotte. Il complesso delle informazioni relative a: anagrafiche dei punti, valori delle misurazioni e risultati di analisi, potrà essere consultato in modalità alfanumerica e cartografica (WEBGIS), da utenti della rete interna dell'Ente Appaltante e da utenti esterni opportunamente autorizzati, che potranno accedere al sistema applicativo attraverso login e password secondo opportune policy di abilitazione.
L'interrogazione dei dati del SIT è trattata attraverso un sistema applicativo di interrogazione complesso (query builder) che guida l'utente nella costruzione della propria ricerca. Tutti i risultati di una interrogazione possono essere, oltre che consultabili e stampabili come liste in pagine web, anche esportabili in file excel/pdf e costituire la base della reportistica.
Gli standard tecnologici GIS adottati per la realizzazione della piattaforma applicativa consentono di rendere disponibili le strutture dati georeferenziati del SIT a qualunque altro software che utilizza le specifiche Open GIS WMS 1.1.1 dell'Open Geospatial Consortium (OGC).
Il sistema applicativo realizzato a supporto del monitoraggio delle acque sotterranee del progetto TIZIANO, comprensivo del SIT, è stato realizzato da Planetek Italia nell'ambito dell'Associazione Temporanea di Imprese (Planetek Italia, Italprogetti, Loran, dalla ETG, Geokarst Engineering, Nautilus) mandataria LaboratoRI di Roma

Architettura del sistema
L'applicazione prodotta da Planetek per il monitoraggio delle acque sotterranee della Puglia è composta dalla componente SIT e dalla componente web application.

Il SIT è organizzato su un database centralizzato, basato sul modello OSS di SINAnet, e contiene:
- Anagrafiche, impronte geografiche e dati di misura;
- dati cartografici (mappe territoriali di sfondo, immagini satellitari, cartografie tematiche del contesto territoriale);

La componente web application contiene tutto l'insieme delle applicazioni per l'introduzione, la gestione e la pubblicazione dei dati del SIT in modalità alfanumerica e cartografica.
L'accesso tramite funzionalità applicative alla base del SIT è disciplinato da policy di accounting che organizzano i contenuti e le viste dei dati in modo adeguato ai livelli di autorizzazione con cui l'utente si presenta al sistema.

Il set di funzioni applicative si compone essenzialmente di due componenti:

acquisizione dati

La componente di acquisizione dei dati avviene:

- in automatico, attraverso il sistema Scada, ossia un sistema in grado di interagire, attraverso varie tipologie di comunicazione, con le centraline per l'accesso ai dati delle strumentazioni. Lo Scada acquisisce i dati dai corpi idrici strumentati e li trasferisce al SIT;
- in manuale, attraverso interfacce interattive web, con procedure di importazione misure che consentono di inserire nel SIT i dati di misura relativi alle indagini in situ e di laboratorio. Il processo di importazione dei dati si completa con le funzionalità di validazione .

Consultazione - elaborazione e diffusione

La componente opera sul modulo CSC (Centro Servizi Cartografici) e sulle funzionalità applicative del WEBGIS. Nello specifico:

- Il modulo CSC, basato su ArcGIS ESRI, consente la realizzazione e la gestione dei dati cartografici e la realizzazione di nuove mappe tematiche sui valori delle misure.
- Il modulo WEBGIS è basato sul sistema Cart@net di Planetek Italia e contiene le componenti funzionali che rendono disponibili i dati sia in modalità alfanumerica che cartografica. Il modulo consente cioè:
  - la pubblicazione e condivisione della banca dati alfanumerica (anagrafiche e misure), l'interrogazione,
  - il caricamento e la gestione (editing) dei dati cartografici,
  - la pubblicazione di reportistica e trend grafico dei valori di misura
  - le funzionalità per la produzione dei rapporti (trimestrali/annuali), e la generazione delle schede informative da trasmettere periodicamente all'APAT (oggi ISPRA).

Conclusioni e Risultati

Il progetto Tiziano e l'implementazione del SIT per la raccolta, normalizzazione, analisi e diffusione dei dati di monitoraggio rappresenta un primo passo verso la messa in esercizio di un sistema di monitoraggio unico regionale che, in una logica di condivisione ed interoperabilità di sistemi di monitoraggio differenti e che fanno capo a strutture regionali differenti, possa fornire una visione unica ed integrata dello stato qualitativo della risorsa idrica a livello regionale. L'implementazione del SIT basato su architetture consolidate e standard aperti e condivisi a livello nazionale ed internazionale è alla base di una visione a medio lungo termine nella implementazione di monitoraggio complessi che devono essere in grado di cogliere la complessità dei fenomeni ambientali così come ben rappresentato dalla problematica del monitoraggio delle acque sotterranee ed in generale dell'intero ciclo delle acque.

L'interoperabilità del SIT delle acque con l'istituendo SIPA regionale e il SIARPA che l'ARPA Puglia sta realizzando rappresentano i primi mattoni su cui costruire una infrastruttura di dati spaziali che possa supportare efficacemente le scelte di indirizzo e pianificazione ambientale a livello regionale.

Riferimenti bibliografici

Giombolini G. (2000): Manuale Standard SINAnet parte 1a – Indirizzi e regole, ANPA (APAT), 2000.

TEXTURIZZAZIONE DI IMMAGINI TERMICHE SU NUVOLE DI PUNTI DA LASER SCANNER TERRESTRE

Ginevra BOATTO (*), Vladimiro ACHILLI (*), Andrea CABRUCCI (**), Massimo FABRIS (*), Marco NARDINI (**), Sergio PADOVANI (**)

(*) Laboratorio di Rilevamento e Geomatica – DAUR – Università di Padova, via Marzolo, 9 – 35131 Padova, Tel.: 049 827 5579, e-mail: ginevra.boatto@unipd.it
(**) Leica Geosystems s.p.a., via Codognino, 12 – 26854 Cornegliano Laudense (LO)

Riassunto
La texturizzazione di immagini acquisite nel visibile, su nuvole di punti ottenute da metodologie di rilievo 3D terrestre, permette di generare prodotti fruibili in modo interattivo e di immediata interpretazione. Per quanto riguarda invece le immagini termiche di un oggetto, dato che non ne forniscono le caratteristiche geometriche, si rende difficoltosa l'operazione di *texture mapping*.
In questo lavoro viene applicata una procedura per la texturizzazione di immagini termiche su nuvole di punti *laser scanning* basata sulla visualizzazione termica dei *target* retro-riflettenti comunemente utilizzati per la georeferenziazione delle scansioni.

Abstract
Acquired images of an object can be textured on point clouds derived from 3D terrestrial surveying methodologies, generating products interactively available and of immediate interpretation. Nevertheless, thermal images do not show geometrical features of the acquired object, making the texture-mapping process difficult.
In this work, a procedure for projection of thermal images on laser scanning point clouds is shown: the operation is based on thermal visualization of the laser scanning targets, generally used for geo-referencing the scans.

Introduzione
I sistemi di rilievo terrestre 3D ad alta risoluzione, come il *laser scanning* e la fotogrammetria digitale, negli ultimi anni hanno trovato applicazioni sempre maggiori nei più diversi settori come strumento di conoscenza per la catalogazione, progettazione ed esecuzione di opere di restauro (Bitelli, 2002). L'integrazione tra un modello digitale tridimensionale e l'informazione radiometrica, ottenuta mediante acquisizioni fotografiche ad alta risoluzione, permette di aggiungere informazioni fotorealistiche al modello 3D ottenendo un prodotto di immediata interpretazione (Frueh et al., 2004; Laycock, Day, 2004; Fabris et al., 2007); la flessibilità delle metodologie permette un loro utilizzo anche per altri scopi come, ad esempio, per analisi termografiche (Avdelidis, Moropoulou, 2003; Voltolini et al., 2007; Meola et al., 2005).
Nella fattispecie, la direttiva europea 2002/91/CE sulla certificazione energetica degli edifici, che prevede la riduzione dei consumi e di emissioni di energia, mira a sensibilizzare gli utenti sugli aspetti energetici di un immobile in fase di costruzione, compravendita o in locazione. In particolare, la direttiva richiede una metodologia per il calcolo del rendimento energetico (art. 1, a), elaborata e applicata a livello nazionale e regionale (art. 3), comprendente la rilevazione delle caratteristiche termiche dell'edificio, sia per le murature esterne che per le divisioni interne. In questo lavoro viene effettuato uno studio per integrare le immagini acquisite nel *range* dell'infrarosso e le metodologie di rilievo tridimensionale, dalla topografia classica al *laser*

scanning, al fine di associare alle rilevazioni termiche effettuate sugli edifici una corrispondenza metrica sulla struttura.
Per questo motivo sono state digitalizzate alcune pareti di manufatti architettonici moderni tramite il *laser scanner* Leica HDS (ex Cyrax) 2500, con *target* Leica HDS ad alta riflettività. I segnali sono stati misurati anche con la stazione integrata Leica TC 2003 per l'allineamento delle nuvole di punti *laser scanning* in uno stesso sistema di riferimento. Le caratteristiche termiche delle superfici architettoniche in oggetto sono state rilevate utilizzando la termocamera Flir B2, mentre per l'acquisizione delle caratteristiche radiometriche è stata utilizzata la camera digitale metrica Canon EOS 1 – Ds *Mark* II. Lo studio ha consentito di integrare fra loro queste metodologie e realizzare modelli tridimensionali con immagini termiche correttamente texturizzate.

Esecuzione del *texture mapping* termico
E' stato scelto un caso di studio in cui la superficie in esame presenti delle interruzioni di continuità che rendano più complicata la texturizzazione (presenza di spigoli). Da una vista in pianta, la conformazione è a "Z", con tre pareti, le due laterali fra loro parallele mentre quella centrale risulta ad esse perpendicolare (figura 1a). Sulla superficie sono stati disposti 17 *target laser scanning* tipo Leica retro-riflettenti, ad alta riflettività distribuiti sulle 3 superfici; mediante il *laser scanner* Leica HDS 2500 è stata effettuata una sola scansione con passo di campionamento di 5 mm, ad una distanza *laser scanner*-parete di circa 10 m. I *target* sono stati successivamente acquisiti con scansioni di dettaglio, uno ad uno, e misurati mediante la stazione integrata Leica TC 2003 in un sistema di riferimento locale, secondo il principio dell'intersezione in avanti multipla: l'elaborazione dei dati ha permesso, in questo modo, di ottenere le coordinate dei punti con precisioni sub-millimetriche. Le prese fotografiche nel *range* del visibile sono state effettuate sia sull'intera superficie che per ognuna delle 3 pareti in esame, utilizzando la camera digitale metrica Canon EOS 1 – Ds *Mark* II.
Prima di effettuare le prese con la termocamera, è stato necessario visualizzare termicamente i *target*: infatti, per poter essere correttamente riconosciuti nell'immagine termica ed effettuare in questo modo una corretta texturizzazione, i segnali devono essere anche "termicamente visibili", cioè con una temperatura molto diversa (e quindi cromaticamente riconoscibili), rispetto al contesto della superficie in cui si trovano. Così i *target laser scanner* Leica sono stati vaporizzati con uno *spray* freddo, ossia del ghiaccio secco (prodotto per uso medico). E' stato quindi possibile procedere con le prese termiche: anche per le immagini nell'infrarosso, l'acquisizione è stata effettuata sull'intera area e separatamente per ciascuna delle 3 superfici, utilizzando la camera Flir B2 che fornisce immagini di dimensioni 640 x 480 *pixel*.
In fase di elaborazione la nuvola di punti *laser scanning* è stata roto-traslata nel sistema di riferimento dei punti d'appoggio, imponendo le coordinate tridimensionali dei *target* rispettivi utilizzando il software *Cyclone*© v. 5.3 (con errore massimo di mosaicatura di 2 mm); successivamente, il modello 3D finale è stato triangolato in una superficie di tipo *mesh* tramite il software *LeiosMesh*©. Nell'ambiente *RapidForm*2004©, dopo aver evidenziato le coordinate dei 17 segnali posizionati sulla parete e riconoscibili come entità geometriche sulla *mesh* (figura 1b), si è proceduto con la texturizzazione di ciascuna immagine acquisita nel visibile (figura 1c) collimando i punti d'appoggio (*target*) tra superficie *mesh* e immagine. Allo stesso modo è stato possibile texturizzare le immagini termiche sulla *mesh* triangolare (figura 1d).
Nonostante sia più difficile valutare la qualità della texturizzazione di un'immagine nell'infrarosso rispetto ad una nel visibile (visto che non restituisce le geometrie esatte ma le loro caratteristiche termiche), in corrispondenza di particolari riconoscibili, come porte, finestre o elementi architettonici, si nota comunque che il risultato dell'operazione è ancora migliorabile: con riferimento alla parete centrale di figura 1d, la texturizzazione in corrispondenza della porta presenta delle anomalie. Questo è stato causato dall'impossibilità di acquisire immagini termiche con asse della camera perpendicolare alla superficie centrale per mancanza dello spazio necessario: utilizzando un'immagine acquisita di scorcio, il risultato della texturizzazione, con il software

*RapidForm*2004©, risulta peggiore; inoltre, si nota come, al di sotto della finestra visibile in figura 1d, sia presente una dispersione termica piuttosto rilevante (il rosso, che presenta una superficie di circa 0.6 m^2 corrisponde ad una temperatura di circa 12°C, mentre l'area circostante, verde, fornisce una temperatura di circa 10°C): l'immagine è stata acquisita nel mese di dicembre 2007 e all'interno della stanza, sotto la finestra, era presente un termosifone acceso. In questo caso, quindi, la parete dell'edificio non sembra adeguatamente isolata.



Figura 1 – a) superficie acquisita; b) mesh triangolare con evidenziati i target laser scanning Leica; c) texture mapping delle immagini acquisite nel visibile; d) texture mapping delle immagini acquisite nell'infrarosso

Un'altra applicazione è stata effettuata in corrispondenza alle pareti interna ed esterna di una muratura con lo scopo di fornire una texturizzazione termica completa della parete (interno ed esterno) per individuare fenomeni e comportamenti interni alla muratura.
Prima dell'acquisizione dei dati, sulla parete esterna sono stati posizionati 9 *target laser scanner* Leica distribuiti uniformemente sull'area di interesse, mentre sulla parete interna sono stati collocati 15 *target* a causa della difficoltà di operare in ambienti interni, caratterizzati da spazi limitati (utilizzando gli obiettivi disponibili non è stato possibile acquisire, con una sola immagine nel visibile e nell'infrarosso, l'intera parete interna).

Le due porzioni della parete sono state acquisite con il *laser scanner* Leica HDS 2500 con passo di campionamento di 5 mm e ad una distanza *laser scanner*-parete di circa 15 m per la parte esterna e circa 5 m per la parte interna. Per rilevare la parete interna è stata effettuata una sola scansione, mentre per coprire quella esterna sono state necessarie due acquisizioni. Come nei casi precedenti, sui *target* sono state effettuate scansioni di dettaglio per determinare, con elevata precisione, il baricentro dei segnali utilizzati.
E' stata quindi predisposta, materializzata e misurata una rete locale di riferimento necessaria per collegare, in un unico sistema, i *target* posizionati sulla parete interna a quelli presenti sulla parete esterna; la rete è stata misurata con la stazione integrata Leica TC 2003; dai punti rete sono stati quindi acquisiti tutti i segnali *laser scanner*. L'acquisizione fotografica nel visibile è stata effettuata con la camera digitale metrica Canon EOS 1 – Ds *Mark* II dagli stessi punti di stazionamento del *laser scanner*, utilizzando l'obiettivo di focale 28 mm.
L'acquisizione termografica, con la camera Flir B2, è stata effettuata dopo aver evidenziato termicamente i *target* mediante la bomboletta *spray* di ghiaccio secco, analogamente al caso precedente: complessivamente sono state acquisite 4 immagini nell'infrarosso per la parete interna (dove è stato evidenziato un *range* termico compreso tra 12°C e 37°C) e due per la parete esterna (con intervallo termico compreso tra 5°C e 16°C). Le acquisizioni sono state effettuate nel mese di dicembre 2007 e, anche in questo caso, all'interno della stanza, sotto la finestra di sinistra, era presente un termosifone acceso (figura 2).
L'allineamento delle nuvole di punti è stato effettuato con il software *Cyclone*© v. 5.3, utilizzando i *target* georiferiti. È stato possibile quindi roto-traslare, con errore massimo di mosaicatura di 3 mm, le nuvole di punti nel sistema di riferimento dei punti d'appoggio, ottenendo il modello 3D finale della muratura che presenta uno spessore medio di circa 35 cm.
Il modello così ottenuto è stato triangolato con il software *Reconstructor*©, generando superfici *mesh* sia per la porzione esterna che per quella interna della parete. Il modello è stato quindi gestito nell'ambiente *RapidForm*2004©, utilizzando anche le coordinate di tutti i segnali come entità geometriche di riferimento. Procedendo come descritto sopra, è stato possibile effettuare la texturizzazione sia delle immagini nel visibile (figura 3a) che di quelle nell'infrarosso, sia per la parete interna (figura 2) che per quella esterna (figura 3a, b).

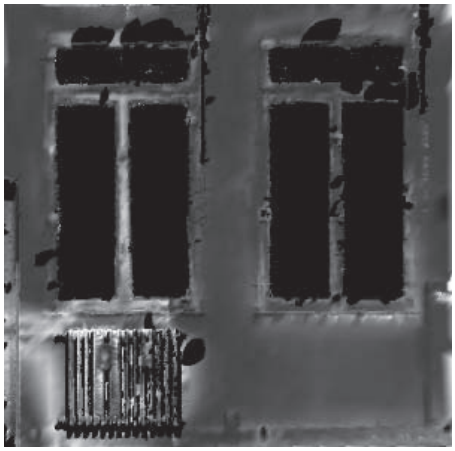


Figura 2 – Texturizzazione delle immagini termiche sulla mesh triangolare per la parete interna della muratura analizzata

Dalla texturizzazione delle immagini nell'infrarosso (figura 3) risultano evidenti dispersioni termiche in prossimità degli infissi delle finestre e al di sotto della finestra di destra dove, all'interno, era presente il radiatore acceso (figura 2); tuttavia non è stata osservata alcuna dispersione in corrispondenza della canaletta dell'acqua calda del termosifone.

Definizione metrica delle variazioni termiche superficiali di una muratura
In corrispondenza ad una parete test, il *laser scanner* è stato posto ad una distanza di 5 m dalla superficie in due differenti stazionamenti: in questo modo sono state acquisite due nuvole di punti con passo medio di 0.5 cm da due differenti punti di vista, riducendo al massimo le zone d'ombra e le porzioni in sottosquadro.
Prima delle scansioni, sulla parete sono stati posti 6 *target* retro-riflettenti in corrispondenza ai quali sono state effettuate, come al solito, scansioni di dettaglio, definendo con precisione il baricentro dei segnali attraverso la media dei punti acquisiti. I *target* sono stati successivamente rilevati con la

stazione integrata Leica TC 2003 mediante intersezioni in avanti multiple, associando al centro dei segnali stessi coordinate 3D riferite ad un sistema locale.



Figura 3 – Texture mapping delle immagini acquisite nel visibile (a) e di quelle termografiche (b) per la parete esterna della muratura analizzata

L'allineamento delle due nuvole di punti è stato effettuato con il software *Cyclone*© v. 5.3 secondo la modalità *survey registration*: ogni singola scansione è stata roto-traslata direttamente nel sistema di riferimento locale mediante l'imposizione delle coordinate dei *target* della scansione; in questo modo è stato possibile georeferenziare in uno stesso sistema di riferimento le due scansioni con un errore massimo di mosaicatura di 1 mm, ottenendo il relativo modello tridimensionale.
Dopo l'acquisizione delle scansioni, i segnali sono stati resi termicamente visibili mediante l'utilizzo di ghiaccio secco; inoltre, in questo caso è stata provocata artificialmente una variazione termica su un'area limitata di circa 0.50 m^2 (versando acqua calda direttamente sulla parete); successivamente, sono state acquisite immagini termiche ogni 5 minuti per monitorare la fase di asciugatura/raffreddamento, che potrebbe non essere uniforme sull'area interessata e quindi fornire informazioni sulle caratteristiche, anche differenziali, della muratura (figura 4). La temperatura dell'area interessata dal fenomeno è cambiata progressivamente, passando da 13.6°C al tempo t = 0 (figura 4a), a 11.7°C dopo 5 minuti (figura 4b), a 10.4°C dopo 10 minuti (figura 4c) e a 9.9°C dopo 15 minuti (figura 4d), dimostrando la non linearità del processo di raffreddamento della superficie (l'area circostante presentava una temperatura di 8.7°C, figura 4). Invece, l'area interessata dal fenomeno è passata da 0.50 m^2, 0.26 m^2, 0.19 m^2, 0.15 m^2 seguendo, pertanto, una legge analoga.

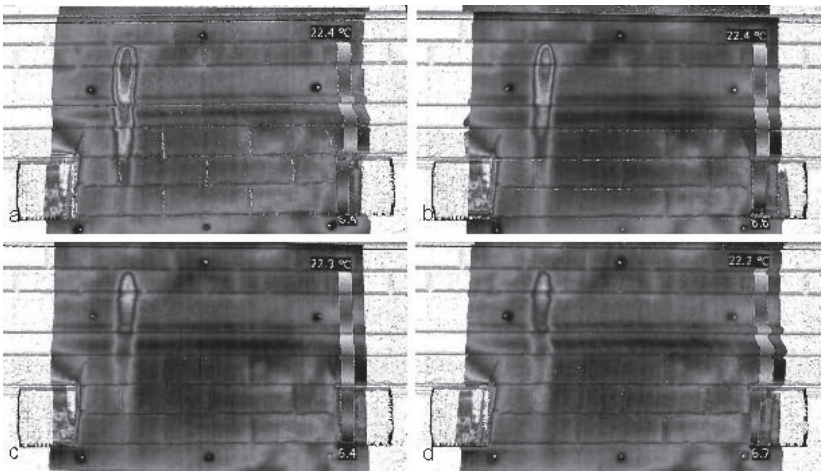


Figura 4 – Texture mapping di immagini termiche sulla mesh triangolare di una parete test per il monitoraggio di un fenomeno termico: immagini acquisite al tempo t = 0 (a), t = 5 minuti (b); t = 10 minuti (c) e t = 15 minuti (d)

Conclusioni e sviluppi futuri

Nel lavoro è stato dimostrato come possano essere utilizzati *target laser scanner* Leica HDS 2500 (ideali soprattutto per effettuare la rototraslazione e quindi l'allineamento delle nuvole di punti) per realizzare la texturizzazione di immagini termiche direttamente sulle superfici *mesh* ottenute dai dati *laser scanning*; prima dell'acquisizione con la termocamera Flir B2, i *target* sono stati resi termicamente visibili mediante ghiaccio secco vaporizzato. Operativamente, nelle applicazioni discusse, sono stati sempre posizionati almeno 6 segnali come punti d'appoggio per la georeferenziazione di ogni singola immagine sul modello virtuale (software *RapidForm*2004©).

Nel caso di edifici di notevole complessità strutturale, risulta più conveniente affrontare il problema parete per parete: è necessario acquisire immagini, sia nel visibile che nell'infrarosso, per ogni singola parete, procedendo con asse della camera perpendicolare alla superficie in oggetto. In questo modo viene effettuata la texturizzazione su elementi più semplici, potendo poi aggregare le singole *texture* sul modello finale 3D; sono stati utilizzati, anche in questo caso, almeno 6 *target* visibili su ogni immagine termica.

Le applicazioni hanno evidenziato la validità della metodologia: i risultati ottenuti hanno fornito *texture mapping* di buona qualità, confrontabili con quelle ottenute da immagini acquisite nel visibile (nonostante le dimensioni delle immagini termiche siano di 640 x 480 *pixel*, al contrario di quelle nel visibile che presentano invece dimensioni di 4992 x 3328 *pixel*).

Nel caso di oggetti di particolare interesse storico-artistico, sui quali non sia possibile posizionare *target laser scanning* termicamente visibili, sarà necessario individuare una procedura differente: in questi casi può essere utile l'integrazione di immagini termiche con quelle acquisite nel visibile per individuare su quest'ultime i punti necessari per l'operazione di *texture mapping*.

Bibliografia

Avdelidis N. P., Moropoulou A. (2003), "Applications of infrared thermography for the investigation of historic structures", *Journal of Cultural Heritage*, 5: 119-127

Bitelli G. (2002), "Moderne tecniche e strumentazioni per il rilievo dei beni culturali", *Atti della 6ª Conferenza Nazionale ASITA*, 1: IX-XXIV

Direttiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 16 dicembre 2002 sul rendimento energetico dell'edilizia, http://efficienzaenergetica.acs.enea.it/doc/dir91-02.pdf

Fabris M., Achilli V., Bragagnolo D., Menin A., Ongarato F., Salemi G. (2007), "Analisi di procedure per texture mapping. Test site: il Cortile cinquecentesco del Palazzo del Bo a Padova", a*tti della 11ª Conferenza Nazionale ASITA,* Novembre 6-9, 2007, Torino, 1: 1039-1044

Frueh C., Sammon R., Zachor A. (2004), "Automated Texture Mapping of 3D City Model With Oblique Aerial Imagery", *Proceedings of the 3D Data Processing, Visualization, and Transmission, 2nd International Symposium on (3DPVT'04)*: 396-403

Laycock R. G., Day A. M. (2004), "Automatic techniques for texture mapping in virtual urban environments", *Proceedings of Computer Graphics International*: 586-589

Meola C., Di Maio R., Roberti N., Carlomagno G. M. (2005), "Application of infrared thermography and geophysical methods for defect detection in architectural structures", *Engineering Failure Analysis*, 12: 875-892, doi: 10.1016/j.engfailanal.2004.12.030

Voltolini F., Rizzi A., Remondino F., Girardi S., Gonzo L. (2007), "Integration of non-invasive techniques for documentation and preservation of complex architectures and artworks", *Proceedings of the 2nd ISPRS International Workshop 3D-ARCH 2007: 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures*, ETH, Zurich, Switzerland, 12-13 July 2007

UN APPROCCIO INNOVATIVO PER INVENTARIARE L'USO DEL SUOLO IN ITALIA

Michele BOCCI (*), Olga RENDA (**), Vanessa TEDESCHI (***), Antonio LUMICISI (***)

(*) Geographike S.r.l., Via Sansedoni 7, 53100 SIENA, m.bocci@geographike.it
(**)Intecs Informatica e Tecnologia del Software S.p.A., Pisa, olga.renda@intecs.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, lumicisi.antonio@minambiente.it

Riassunto

Il Protocollo di Kyoto richiede la realizzazione, per ogni Paese firmatario, di un sistema inventariale nazionale che consenta di contabilizzare l'assorbimento di carbonio (al netto delle emissioni dei gas non-CO_2) delle attività di Uso delle Terre, Cambiamento di Uso delle Terre e Selvicoltura (*Land Use Land Use Change and Forestry, LULUCF*) in conformità con le decisioni adottate dall'UNFCCC ed in accordo con le Linee Guida e Buone Pratiche (GPG) raccomandate dal Gruppo di esperti Intergovernativo sui Cambiamenti Climatici delle Nazioni Unite (IPCC).

Il presente lavoro si concentra sugli aspetti metodologici di una sperimentazione in corso, condotta nell'ambito del progetto GSE Forest Monitoring e consiste nella realizzazione di un data base geografico per la classificazione degli usi del suolo secondo le categorie indicate da UNFCCC nelle *IPCC Good Practice Guidance for LULUCF* (IPCC-GPG, 2003) basato su un campionamento ad alta densità di punti fissi (10pt/km^2). La codifica dei punti prevede l'analisi dell'intorno di ogni punto con tecniche di Telerilevamento basate sulla segmentazione ad oggetti e la classificazione *fuzzy*. I dati utilizzati sono costituiti da immagini ad alta risoluzione (Ikonos ed ortofoto), immagini satellitari Spot e dati ausiliari regionali, tutti relativi al 2006. Vengono inoltre utilizzati nella procedura di classificazione i dati prodotti nelle fasi precedenti del progetto (Uso del Suolo 2002 e 1990e le immagini del Volo Italia alta quota 1988-89).

Abstract

The Kyoto Protocol requires that each signatory Country set up a National Inventory System for accounting the carbon sequestration (net from non-CO_2 gases emissions) due to Land Use Land Use Change and Forestry (LULUCF) activities, in compliance with the UNFCCC decisions and according to the Good Practices and Guidelines recommended by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) of the United Nations.

The current work focuses on the methodological aspects of an experimental service, realized within the GSE-Forest Monitoring project. The purpose is to implement a spatial database for land use classification according to the UNFCCC (IPCC Good Practice Guidance on LULUCF, 2003) classes based on an high density sampling (10 fixed points per km^2). Samples are coded by analysing their neighbour by means of Remote Sensing Techniques (based on objects segmentation and fuzzy classification). Source data are high resolution images (Ikonos and Ortho-photos), Spot Images and regional ancillary data from 2006 and the data produced during the previous phases of the project (Land Use Map 2002 and 1990, Italian Flight 1988-89 aerial photos) .

L' importanza dei serbatoi agroforestali per limitare le emissioni di gas ad effetto serra

Dal 1° Gennaio 2008 ha inizio il primo periodo di impegno del Protocollo di Kyoto: da questa data fino al 31 Dicembre 2012 l'Italia deve ridurre il bilancio nazionale delle emissioni di gas serra di una quantità pari a circa 100 milioni di tonnellate di CO_2 all'anno (-6.5% delle emissioni al 1990), pena l'applicazione di sanzioni di inadempienza attualmente stimate per ogni tonnellata eccedente.

La contabilità delle emissioni, da presentare a scadenze fissate e complessivamente nel 2014, deve essere conforme alle procedure previste dagli organi internazionali di revisione della Convenzione Quadro sui Cambiamenti Climatici (UNFCCC) e l'Italia, al pari degli altri Paesi firmatari, deve impegnarsi a realizzare il proprio "Sistema Nazionale di rendicontazione per il Protocollo di Kyoto" (*National System*).

Secondo il Protocollo di Kyoto ed i successivi accordi negoziali, parte di questo sistema deve essere dedicato al contributo dei cosiddetti "*sinks*" biogenici di carbonio (vegetazione e suoli), che attraverso l'azione di fissazione della CO_2 atmosferica costituiscono una voce a detrazione nel bilancio nazionale delle emissioni di gas serra, concorrendo così a rendere meno oneroso l'obiettivo di riduzione per ogni Paese Firmatario.

L'Italia ha scelto di impiegare quale "*sink*" di carbonio la propria superficie forestale ed ha pertanto previsto di istituire, sotto la competenza del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) il Registro Nazionale dei Serbatoi di Carbonio Agro-Forestali (DM 01/04/08, di seguito il Registro) quale parte integrante del proprio sistema di contabilità per il Protocollo di Kyoto .

Il Registro tuttavia, per la specificità delle sue funzioni, necessita di basi dati numeriche e cartografiche a copertura nazionale di cui l'Italia attualmente non dispone.

In particolare risulta prioritario stimare innanzitutto le variazioni di uso del territorio che hanno determinato una contrazione od espansione della superficie forestale (variazione di uso delle terre "da" e "verso" la categoria foresta con riferimento al sistema di classificazione di uso delle terre IPCC-GPG 2003[1]) nel periodo 1/1/1990 – 31/12/2012 dal momento che ad esse è associata un'azione corrispondente di emissione/assorbimento di gas serra[2].

A tal scopo il DM 01/04/08 individua l'Inventario dell'Uso delle Terre d'Italia – IUTI), come uno dei quattro strumenti operativi mediante i quali il Registro esercita le sue funzioni.

L'approccio metodologico

La possibilità di monitorare i cambiamenti di uso del suolo secondo la classificazione IPCC-GPG richiede la definizione di una metodologia che individui le categorie definite con accuratezza, permetta la stima delle superfici con precisione e conduca, infine, a risultati sempre riproducibili a partire dai dati di partenza.

Tipicamente una metodologia con queste caratteristiche richiede l'utilizzo di tecniche di rilevazione *in situ* e la pratica inventariale, che necessita di rilievo a terra degli attributi della classificazione, rimane di gran lunga l'opzione più affidabile. Gli inventari, tuttavia, sono attività onerose sia dal punto di vista dei costi che dei tempi di realizzazione e per questo rappresentano spesso opzioni poco praticabili per il monitoraggio di vaste estensioni di territorio.

Un'alternativa all'approccio inventariale è rappresentata dall'utilizzo di immagini satellitari, oggi disponibili in una vasta gamma di risoluzioni ed a costi che ne hanno incoraggiato l'impiego in numerose applicazioni territoriali.

[1] Settlements, Cropland, Forest Land, Grassland, Wetlands, Other Lands, IPCC 2003
[2] Non solo CO_2 ma nel caso di perdita della superficie forestale per incendio anche CH_4 e N_2O

Il presente lavoro costituisce una sperimentazione delle tecniche di telerilevamento per il monitoraggio dell'uso e dei i cambiamenti di uso del suolo secondo la classificazione IPCC-GPG e si basa sull'impiego di una combinazione di dati derivanti da immagini satellitari ad alta ed altissima risoluzione, ortofoto e dati ausiliari.

La metodologia di classificazione si caratterizza per l'applicazione del concetto autentico di "*land-use*" che, in contrapposizione a quello di "*land-cover*" tiene conto del valore socio-economico dell'uso, allo scopo di determinare, in modo univoco, la predominanza di un dato uso delle terre tra i diversi possibili[3]. È frequente infatti il caso della coesistenza di usi concorrenti sulla stessa superficie oggetto di classificazione.

Il lavoro presentato è il primo tentativo di implementazione, a scala ridotta, dell'Inventario dell'Uso delle Terre di Italia – IUTI, parte integrante delle basi dati impiegate dal "Registro Nazionale dei Serbatoi di Carbonio agro-forestali" per quantificare il contributo dei sinks nella contabilità del Protocollo di Kyoto.

Il progetto GSE-Forest Monitoring

La realizzazione di IUTI sulla provincia di Sondrio è inserita nell'ultima fase (Aprile 2008 – Marzo 2009) del progetto "GSE-Forest Monitoring" (GSE-FM), finanziato dall'Agenzia Spaziale Europea (ESA) nell'ambito del programma GSE (Global Monitoring for Environment and Security Service Element). Attualmente il MATTM partecipa al GSE-FM come utente finale, beneficiario, cioè, dei risultati prodotti.

Il progetto GSE-FM rappresenta un'iniziativa di ESA intesa ad indagare le potenzialità del telerilevamento satellitare per fornire un supporto operativo per Paesi dell'Unione Europea nell'applicazione del Protocollo di Kyoto ed in generale nel monitoraggio delle foreste. Esso fa seguito ad un altro progetto, il Kyoto-INV (Kyoto-INVentory), realizzato con gli stessi scopi. Il GSE-FM è coordinato dalla società tedesca GAF e coinvolge tutti i paesi dell'Europa centro-occidentale (per la Francia è compreso il territorio della Guyana Francese), la Polonia ed alcuni paesi africani.

In questo contesto Intecs Informatica e Tecnologia del SW (Intecs) ha fornito il servizio di LULUCF monitoring per il caso Italiano realizzando una mappa di uso del suolo, con le classi previste dal Protocollo di Kyoto, per l'anno 1990 (anno di riferimento o *baseline year*) su tutta Italia; su sei regioni Intecs ha realizzato anche le mappe di uso per il 1997, 2002 e le relative mappe dei cambiamenti. Le fonti primarie di dati sono costituite da coppie di immagini Landsat 5 e 7 (*season to season*), integrate da dati ausiliari forniti dal MATTM e dalle singole Amministrazioni regionali.

Fonti e date

Le fonti dati saranno costituite da:

Fonte	Caratteristiche	Funzione
ortofoto digitali	elevata risoluzione geometrica e scarso contenuto informativo di tipo radiometrico (assenti informazioni nell'infrarosso)	delineazione degli elementi territoriali presenti nell' intorno dei punti con il necessario grado di dettaglio

[3] Eurostat 2003, Land Cover definition : "*The land cover is the observed physical cover of the earth's surface*", Land Use definition: "*The land use is the description of socio-economic function of the same area*".

immagini ad altissima risoluzione (Ikonos)	elevata risoluzione geometrica e alto contenuto informativo in termini radiometrici	delineazione degli elementi territoriali con il necessario grado di dettaglio che la loro corretta classificazione mediante il contenuto radiometrico
immagini satellitari (Spot5, Rapideye o Aster)	media risoluzione geometrica, ma alto contenuto informativo in termini radiometrici.	tramite la caratterizzazione dell'intorno contribuiscono alla classificazione degli elementi territoriali. L'utilizzo di 2 date (estiva e primaverile/autunnale) consente una migliore definizione degli elementi territoriali.

Le immagini satellitari ad altissima risoluzione risultano particolarmente adatte per questo tipo di servizio, anche se per gli alti costi non risulta attualmente fattibile un servizio estensivo a livello nazionale. Si è ritenuto comunque opportuno inserire tale tipo di dato nella sperimentazione sia per gli aspetti metodologico-sperimentali che per considerazioni legate al progressivo, se pur lento, diffondersi dell'impiego di tali dati in applicazioni estensive a livello regionale (es. Liguria, Emilia Romagna, Veneto, ecc).

A tal proposito segnaliamo che le immagini multispettrali Spot5 hanno una risoluzione pari a 10m, con bande fino all'infrarosso medio; hanno però un elevato costo d'acquisto. Mediante elaborazioni con le immagini pancromatiche sono rilasciati anche prodotti multispettrali a 5 e 2.5 m di risoluzione. Le immagini Aster, con risoluzione di 15 metri fino all'infrarosso vicino e di 30m per varie bande nell'infrarosso medio, sono estremamente più economiche. La missione Rapideye fornirà immagini con risoluzione di 5 m e bande sul visibile e l'infrarosso vicino: non è ancora operativa ma dovrebbe diventarlo presto.

La metodologia

La classificazione dell'uso delle terre qui proposta si basa su un campionamento sistematico per punti del territorio oggetto di indagine. Data l'esigenza di produrre risultati di elevata accuratezza su un territorio con uso del suolo altamente frammentato, quale il territorio italiano, è stato preferito l'approccio campionario alla mappatura "*wall to wall*". L'attribuzione dell'uso del suolo in aree altamente frammentate infatti, oltre a richiedere fonti di elevatissima risoluzione spaziale richiede anche un impegno foto-interpretativo che mal si sposa con il requisito di fornire dati oggettivamente riscontrabili e riproducibili.

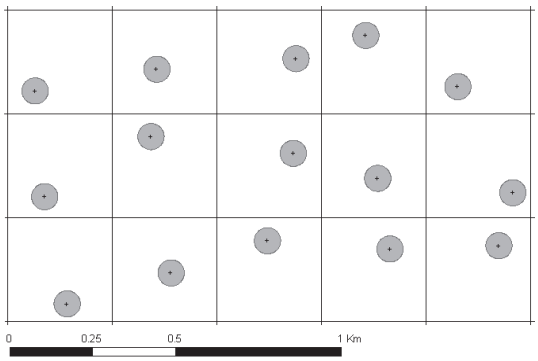


figura 1 – la griglia ed il posizionamento casuale dei punti,

Il campione dei punti, pari a 10 pt/km2 è individuato su una griglia di maglia pari a 316,23 m. La posizione di ogni punto della griglia viene poi modificata mediante la somma di un delta *random*, tale da rendere casuale la posizione finale all'interno della cella, rispettando però una distanza dai bordi di quest'ultima in modo da impedire la possibile sovrapposizione delle aree circolari legate ad ogni punto.

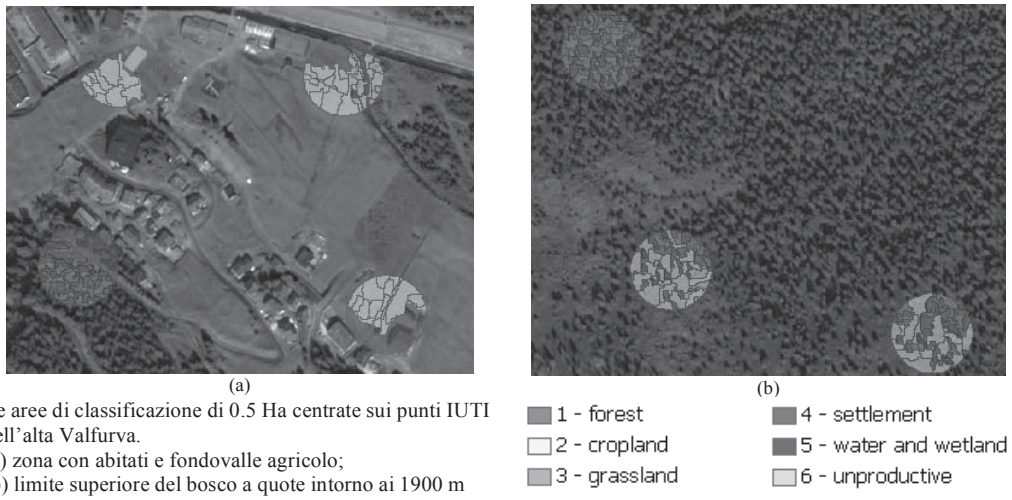
Seguono quindi la fase di delineazione delle componenti territoriali, che avviene mediante segmentazione od oggetti delle immagini ad alta risoluzione e quella dell' interpretazione dell'uso delle terre.

L'assegnazione alla classe di uso delle terre del punto in esame è effettuata su un intorno di forma circolare ed area pari a 0.5 ha, di cui il punto di campionamento rappresenta il centro.

Gli elementi insistenti su tale intorno vengono classificati e viene misurato il loro grado di copertura.

La dimensione dell'area si allinea con uno dei parametri che definiscono la categoria IPCC-GPG "*forest*" e cioè 0.5ha di sua minima estensione, oltre alla presenza di un grado di copertura potenziale di specie forestali pari almeno al 10% ed una altezza potenziale delle stesse di 5m.

Tenendo conto di una gerarchia della dominanza degli usi delle terre, dalla presenza degli elementi e dal loro grado di copertura, attraverso una procedura iterativa, si procede alla classificazione dell'uso delle terre prevalente nel punto. Le tecniche di analisi di immagine, basate sulla segmentazione ad oggetti e sulla classificazione con *fuzzy logic*, già sperimentate e consolidate in progetti precedenti[4], sono state ulteriormente affinate per l'impiego in questo nuovo tipo di approccio conoscitivo. Le figure successive illustrano il risultato finale in diverse zone:



Le aree di classificazione di 0.5 Ha centrate sui punti IUTI nell'alta Valfurva.
(a) zona con abitati e fondovalle agricolo;
(b) limite superiore del bosco a quote intorno ai 1900 m s.l.m.

Figura 3 – esempi di applicazione del metodo di classificazione IUTI sulla base di immagini IKONOS 2006.

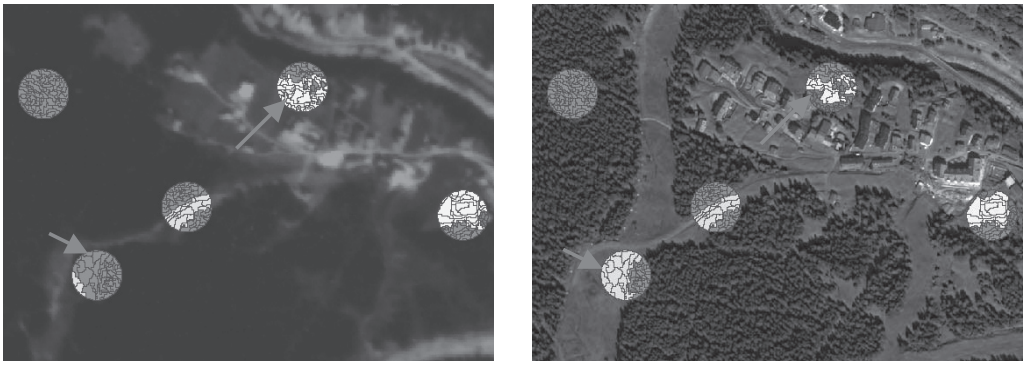


Figura 4 – IUTI 1990 e 2006 a confronto nella zona di S. Caterina Valfurva: da notare in basso a sinistra un cambiamento con deforestazione per l'allargamento delle pista da sci, mentre nella zona centrale in alto l'espansione del nucleo abitato.

[4] Progetti Kyoto-Inventory e GSE-Forest Monitoring, finanziati dall'Agenzia Spaziale Europea

Conclusioni

Il presente lavoro costituisce una sperimentazione delle tecniche di telerilevamento per il monitoraggio dell'uso e dei i cambiamenti di uso del suolo secondo la classificazione IPCC-GPG e si basa sull'impiego di una combinazione di dati derivanti da immagini satellitari ad alta ed altissima risoluzione, ortofoto e dati ausiliari. La metodologia si avvale di regole di classificazione che permettono di applicare il concetto autentico di *land-use* che, in contrapposizione a quello di *land-cover*, basato sulla mera osservazione degli elementi fisici della copertura, ha lo scopo di individuare la funzione socio-economica prevalente dell'area di indagine.
Il caso studio della provincia di Sondrio consente di testare alcuni aspetti critici nell'implementazione della metodologia legati al dimensionamento del campione di punti, della relativa area di indagine ed alla identificazione degli elementi del territorio impiegati per la classificazione.
Gli esiti della sperimentazione permetteranno di valutare l'affidabilità della metodologia, l'efficacia nel raggiungere gli scopi prefissati, gli eventuali limiti e margini di miglioramento ed in ultima analisi l'opportunità di estendere l'applicazione della metodologia stessa a tutto il territorio nazionale.

Bibliografia

Comitato di Consultazione Scientifica (CCS), "3a riunione del Comitato di Consultazione Scientifica (CCS) del Registro Nazionale dei Serbatoi di carbonio forestali", – , 2007
Bocci M. et al., (2007), "Il Telerilevamento per il Protocollo di Kyoto: confronto tra I dati GSE-forest Monitoring e l'Inventario Forestale Nazionale", *Asita 2007*
Romero J., Space for UNFCCC and the Kyoto inventory and GSE Forest Monitoring projects
Bocci M. et al., (2006), "Il Telerilevamento: strumento efficiente nelle verifiche per l'attuazione del protocollo di Kyoto, *ASITA 2006*
Bocci M. et al. (2006)Remote Sensing techniques for land use mapping at national level in Kyoto Protocol activities (Italy and Switzerland) by using Landsat images and testing Spot and Chris data, *EARSEL 2006*EUROSTAT (2003). Land Use/Cover Area frame statistical Survey (LUCAS) - Technical document n°4, Instructions for Surveyors ver. 2.2 del 10 Ottobre 2003, Eurostat 2001.
FAO, 2000 – Global Forest Resources Assessment. Main report. Appendix 2: Terms and definitions. FAO Forestry Paper 140.
FAO, 2005 – Global Forest Resources Assessment. Progress towards sustainable forest management. FAO Forestry Paper 147
INFC, 2003b – Manuale di fotointerpretazione per la classificazione delle unità di campionamento di prima fase. Autori F. De Natale e P. Gasparini. Inventario Nazionale delle Foreste e dei Serbatoi Forestali di Carbonio. MiPAF - Direzione Generale per le Risorse Forestali Montane e Idriche, Corpo Forestale dello Stato, ISAFA, Trento. 82 pp. [on line] URL: http://www.isafa.it/scientifica/pubblicazioni/pu_infc/Pubblic.html
Inventario Forestale Nazionale, una mappa per orientarsi nella sostenibilità, Forum PA, http://www.forumpa.it/archivio/2000/2400/2480/2484/inventario-vicine.html
Inventario Nazionale delle Foreste e del Carbonio, www.ifni.it
Janssens IA et Al., (2003), "Europe's terrestrial biosphere absorbs 7 to 12% of European anthropogenic CO2 emissions", Science 300, 1538-1542.
Magnani F. (2005), " Il ruolo della vegetazione, il progetto CarboItaly", ARPA Rivista N. 5 Settembre-Ottobre 2005, 20-21
Renda O. (2003) "Forest Environmental Reporting Services", International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'03), Vol. 7, p. 4582-458
Schimel DS et Al.,(2001), "Recent patterns and mechanisms of carbon exchange by terrestrial ecosystems", Nature 414, 169-172
Volden E. (2004) "The ESA KYOTO-INV Project" Envisat Symposium, Proceedings n.543

APPLICAZIONE DEI ROUGH SETS AI SISTEMI INFORMATIVI GEOGRAFICI. REALIZZAZIONE DI UN NUOVO MODULO IN GRASS

Antonio BOGGIA, Gianluca MASSEI

Dipartimento di Scienze Economico-Estimative e degli Alimenti dell'Università degli Studi di Perugia. Borgo XX Giugno, 74 Perugia 06121. Tel.: 075 5857136; fax: 075 5857146; e-mail: boggia@unipg.it, g_massa@libero.it

Riassunto

L'obiettivo del presente lavoro è quello di implementare un nuovo modulo in GRASS che, attraverso l'impiego della *rough sets theory,* estragga informazione geografica. L'elaborazione di un set di dati secondo la teoria dei *rough sets* porta a definire regole decisionali che descrivono la realtà esaminata. Lo strumento utilizzato per implementare gli algoritmi è GRASS 6.3 che è stato arricchito di un modulo specifico scritto in C. Il nuovo modulo costruito è stato anche inserito nel toolbox di GRASS in QGIS 0.10.0. La verifica del modello teorico e del modulo applicativo è stata fatta su un'applicazione concreta riferita alla problematica degli incendi boschivi nel territorio umbro.

Abstract

The aim of this paper is to present the implementation of a new module in GRASS, to extract geographic information using the rough sets theory. According to the rough sets theory, processing a data set leads to define decision rules, able to describe the object studied. To implement the algorithms GRASS 6.3 has been used, adding a specific module written in C language. In addition, the new module has been included in the GRASS toolbox, in QGIS 0.10.0. To test the theoretical model and the applied module a case study on the forests fire in Umbria is presented.

1. Introduzione

La crescente disponibilità di informazione geografica richiede l'uso di strumenti in grado di trattare efficacemente i dati e di estrarne le informazioni necessarie per la programmazione del territorio, sia in fase di analisi che di progetto. In questo ambito applicativo l'impiego di tecniche di *data mining* e *machine learning* sembra costituire un'interessante ambito di ricerca applicativa, soprattutto se integrata nei più diffusi software GIS oggi disponibili. L'obiettivo del presente lavoro è quello di implementare un nuovo modulo in GRASS che, attraverso l'impiego della *rough sets theory,* estragga informazioni da database geografici.

2. Teoria dei rough sets e applicazione ai database geografici

La teoria dei *rough sets* (insiemi approssimati), introdotta da Pawlak (1982), si fonda sull'assunzione che ad ogni elemento dell'universo sono associate delle informazioni (dati, conoscenza), espresse utilizzando opportuni attributi. Elementi caratterizzati dalla stessa descrizione sono indiscernibili con riferimento alle informazioni disponibili. La relazione di indiscernibilità (*Ip*) così generata costituisce il fondamento matematico della teoria dei *rough sets*:

$$Ip = \{\ (x,y) \in U\, x\, U : \quad f(x,q) = f(y,q)\ \ \forall\, q \in P\ \} \qquad [1]$$

Un insieme di elementi indiscernibili è denominato "insieme elementare" e costituisce un "granulo" della conoscenza dell'universo considerato. L'unione degli insiemi elementari può essere preciso (ordinario) oppure *rough* (impreciso, vago). Ogni *rough set*, quindi, è costituito da quei casi che non possono essere classificati esattamente. L' insieme impreciso è definito da due insiemi ordinari, chiamati approssimazione inferiore (denominata $\underline{P}\,(X)$) e superiore (denominata $\overline{P}\,(X)$):

$$\underline{P}\,(X) = \{\ x \in U :\ Ip(\mathrm{x}) \subseteq X\ \} \qquad [2]$$
$$\overline{P}\,(X) = \{\ x \in U :\ Ip(\mathrm{x}) \cap X \neq \varnothing\ \} \qquad [3]$$

Gli elementi di $\underline{P}\,(X)$ sono tutti e solo gli $x \in U$ appartenenti a tutte le classi generate dalla relazione di indiscernibilità *Ip* e contenuti in X. Gli elementi di $\overline{P}\,(X)$ sono tutti e solo gli $x \in U$ appartenenti a tutte le classi generate dalla relazione di indiscernibilità *Ip* che hanno almeno un rappresentante appartenente ad X.
La frontiera di X, denominata con $Bn_P(X)$, è:

$$Bn_P(X) = \overline{P}\,(X) - \underline{P}\,(X) \qquad [4]$$

Pertanto, se un oggetto *x* appartiene a $\underline{P}\,(X)$ esso è certamente anche un elemento di X, mentre se *x* appartiene a $\overline{P}\,(X)$ esso può appartenere all'insieme X. $Bn_P(X)$ costituisce, quindi, la "regione del dubbio" di X: nulla può dirsi con certezza circa l'appartenenza dei suoi elementi all'insieme X.
Due indici, l'accuratezza dell'approssimazione $\alpha_P(X)$, e la qualità dell'approssimazione $\gamma_P(X)$, sono definiti come segue:

$$\alpha_P(X) = \frac{|\underline{P}(X)|}{|\overline{P}(X)|} \qquad [5]$$

$$\gamma_P(X) = \frac{|\underline{P}(X)|}{|X|} \qquad [6]$$

Lo scopo è quello di derivare un insieme di regole decisionali basate su determinati attributi, anche in presenza di situazioni di "approssimazione". Le regole possono essere utilizzate ai fini di classificazione, oppure per determinare relazioni di causa-effetto. Per questa sua capacità la *rough sets theory* è utilizzata come strumento di supporto alle decisioni. L'induzione delle regole derivate grazie all'uso della *rough sets theory* è ben rappresentata nella figura 1, proposta dal Obersteiner e Wilk nel 1999.

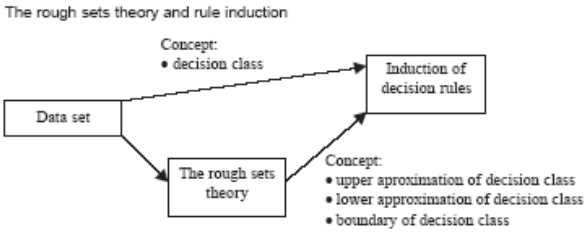


Figura 1 – Rough sets theory e induzione di regole (fonte: M. Obersteiner, S. Wilk, 1999)

La teoria dei *rough sets* dunque, si propone di analizzare le relazioni di causa-effetto tra dati caratterizzati da incertezza e vaghezza. Essa presenta alcuni punti di contatto con altre teorie che trattano l'incertezza e l'imprecisione: teoria della probabilità, teoria dei *fuzzy sets*, analisi discriminante, ecc. Essa offre notevoli potenzialità specialmente per quanto riguarda la descrizione e valutazione della dipendenza fra variabili e l'analisi della significatività di attributi rilevanti caratterizzati da informazioni di tipo qualitativo o quali-quantitativo. E' stata applicata con successo a numerosi problemi reali di classificazione in differenti campi. Gli interessanti risultati ottenuti hanno spinto recentemente studiosi di differenti discipline ad interessarsi allo studio di tale teoria ed alla sua implementazione. Per una raccolta di saggi su applicazioni dei *rough sets* a problemi reali si veda Slowinski (1992). Una breve ma esaustiva rassegna delle più importanti applicazioni si può trovare in Pawlak (1997).
La *rough sets theory* è basata sulle informazioni, e da esse avvia un percorso che porta fino alle regole decisionali. Sta qui la forza dell'integrazione di un modulo *rough set* all'interno di un sistema GIS. E' evidente, infatti, il vantaggio dell'estrazione delle informazioni da un database geografico, per la abbondanza e la collocazione spaziale dei dati, particolarmente utile quando si affrontano problemi decisionali legati alla gestione dell'ambiente e del territorio. In fase di output, inoltre, l'integrazione del modulo in sistema GIS consente la rappresentazione puntuale sul territorio dei risultati ottenuti.

3. Il modulo *r.roughset*

Lo strumento utilizzato per implementare gli algoritmi di analisi basati sui *rough sets* è GRASS 6.3 che è stato arricchito di un modulo specifico scritto in linguaggio C (Bellini, Guidi, 1994) e basato, oltre che sulle librerie standard di GRASS, sulle *rough set library (RSL ver. 2.0)* pubblicate da M.Gawrys´ e J.Sienkiewicz (1993).
Il nuovo modulo di GRASS si chiama *r.roughset* (Fig. 2), ed accetta in input tutti i file raster che rappresentano gli attributi descrittivi del fenomeno da studiare e un file raster con l'identificazione delle aree decisionali.
L'estrazione delle regole decisionali può avvenire secondo otto differenti algoritmi ed il risultato viene registrato in due diversi files. Nel primo vengono riportati in forma descrittiva le regole decisionali estratte, gli indici di qualità dei *rough sets* e ulteriori informazioni utili per fare valutazioni quali-quantitative basate proprio sulla teoria degli insiemi approssimati.

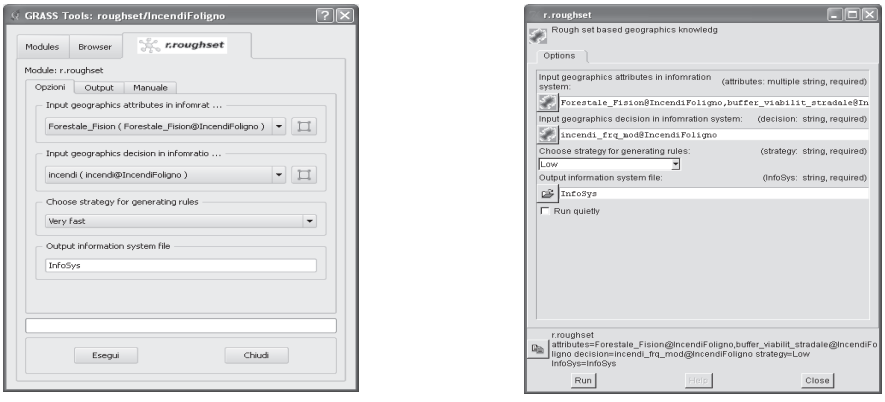


Figura 2 - Interfaccia del modulo r.roughset in GRASS 6.3 e in QGIS 0.10.0

Il secondo file di output è in realtà uno script della *shell bash* in stile *UNIX like* che applica le regole estratte ai file raster presenti nella location e che genera la relativa mappa di classificazione basate sui *rough sets*. Lo script può essere lanciato immediatamente dall'utente da una *shell* oppure può essere opportunamente modificato con l'aggiunta di ulteriori comandi di GRASS per approfondire l'analisi.
L'approccio descritto potrebbe ricordare quello della classificazione delle immagini nell'ambito dell'*image processing*. Anche se ciò può rappresentare un interessante campo di esplorazione dei *rough sets*, i principi di base sono sostanzialmente differenti. Il modulo *r.roughset* non implementa un algoritmo di classificazione delle immagini ma, piuttosto, costituisce un'interfaccia per le *rough sets library* e consente l'accesso a tutte le funzioni di analisi da queste implementate. La successiva fase di classificazione viene ottenuta da un'elaborazione dei file testuali di output e dall'applicazione ricorsiva di alcuni comandi standard di GRASS (*r.mapcalc, r.patch, g.remove, r.colors*).

4. Applicazione di *r.roughset* all'analisi degli incendi boschivi

Gli incendi boschivi rappresentano un elemento di forte criticità per gli ecosistemi forestali mediterranei. In questi ultimi anni la sensibilità del pubblico, gli strumenti di programmazione territoriale ed i controlli sul territorio hanno rivolto maggiore attenzione al problema con l'obiettivo di una progressiva riduzione della superficie forestale incendiata. Purtroppo, nonostante ciò, il fenomeno si ripete annualmente e gli interventi di emergenza non sempre riescono a contenere efficacemente i danni.
Le cause degli eventi sono sempre piuttosto difficili da individuare con certezza. Se si escludono i casi di tipo doloso che si riesce ad accertare, vi è una grande difficoltà ad individuare le motivazioni che hanno portato all'innesco dell'incendio. Gli stessi modelli matematici che sono stati sviluppati e sempre più spesso vengono impiegati nella pratica dell'antincendio non sempre riescono a fornire risposte attendibili nella previsione dell'evento.
La teoria dei *rough sets*, attraverso il modulo *r.roughset* implementato in GRASS 6.3, è stata utilizzata per analizzare database geografici di un comune umbro (Foligno) per il quale è disponibile un catasto decennale degli incendi boschivi con l'individuazione dei punti di innesco.
E' stato costruito un database geografico contenente l'uso del suolo, l'inventario forestale regionale, la viabilità stradale e ferroviaria, gli elettrodotti di alta tensione ed i centri abitati, la pendenza e l'esposizione dei versanti. Il sistema informativo geografico ottenuto, che costituisce l'insieme degli attributi che hanno determinato il verificarsi degli incendi, è stato integrato con un tema geografico che materializza il catasto delle aree percorse da incendio nel decennio 1998 – 2007. Tutti i punti di innesco degli incendi boschivi sono stati riclassificati in quattro differenti classi in base alla frequenza di eventi ripetutesi nel corso del decennio. Il sistema così ottenuto rappresenta la base per il calcolo del "Sistema Informativo" definito secondo la teoria dei *rough sets*.
Attraverso l'applicazione del modulo *r.roughset* è possibile estrarre le regole decisionali che secondo i presupposti della teoria e sulla base delle variabili territoriali fornite come input influenzano l'innesco di un incendio boschivo.
Le informazioni più significative ottenute dall'analisi sono riportate in Figura 3 ed i numeri identificano i temi geografici utilizzati nell'analisi secondo l'ordine di inserimento.
La parte più importante dell'output è rappresentato dalle regole decisionali che vanno lette da sinistra a destra secondo la sintassi: *if … then* .....A fini esemplificativi, la prima regola decisionale ottenuta e riportata in Figura 3 va letta " se il bosco è classificato con categoria 6 allora la classe di frequenza di incendi è 2".
La traduzione cartografica in ambiente GIS è riportata in Figura 4 ed è generata dallo script che costituisce il secondo output del modulo *r.roughset*.

Mean number of attributes in rule = 1.7
Condition attributes are
{ 0,1,2,3,4,5 }
Decision attributes are
{ 6 }
DependCoef = 0.751843
CORE = { 0,2,4,5 }
RedOptim = { 0,2,4,5 }
Few reducts (1):
{ 0,2,4,5 }
5 **strategy of generating rules**
Time of generating rules = 1234s
Rules (6)
Forestale_Fision@IncendiFoligno=6 => incendi_frq_mod@IncendiFoligno=2 (65 objects)
Forestale_Fision@IncendiFoligno=10 => incendi_frq_mod@IncendiFoligno=4 (43 objects)
Forestale_Fision@IncendiFoligno=9 => incendi_frq_mod@IncendiFoligno=4 (70 objects)
Forestale_Fision@IncendiFoligno=5 buff_elettrodotti@IncendiFoligno=4 => incendi_frq_mod@IncendiFoligno=3 (62 objects)
buff_elettrodotti@IncendiFoligno=3 centri_buffer@IncendiFoligno=5 => incendi_frq_mod@IncendiFoligno=3 (20 objects)
UsoSuolo@IncendiFoligno=2 buff_strade@IncendiFoligno=3 => incendi_frq_mod@IncendiFoligno=3 (61 objects)
Mean number of attributes in rule = 1.5

Figura 3 - Output testuale generato dal modulo r.roughset

La scelta di rimandare ad una successiva fase la generazione della mappa "*rough*" è dovuta al fatto che in base agli algoritmi di analisi scelti e alla complessità del fenomeno le regole generate possono essere moltissime con richieste di tempi di calcolo elevate. Inoltre, l'utente avanzato può facilmente modificare lo *script* per adattarlo a specifici scopi di analisi. Si pensi, al riguardo, alle analisi statistiche che possono essere generate autonomamente o alla verifica di corrispondenza tra le aree decisionali e i risultati ottenuti dalla classificazione.
L'estensione dall'analisi numerica a quella spaziale, resa possibile dall'implementazione del modulo all'interno di GRASS, apre una serie di possibilità aggiuntive importanti, consentendo una più immediata e efficace comprensione dei risultati, a vantaggio della funzione di supporto alle decisioni.

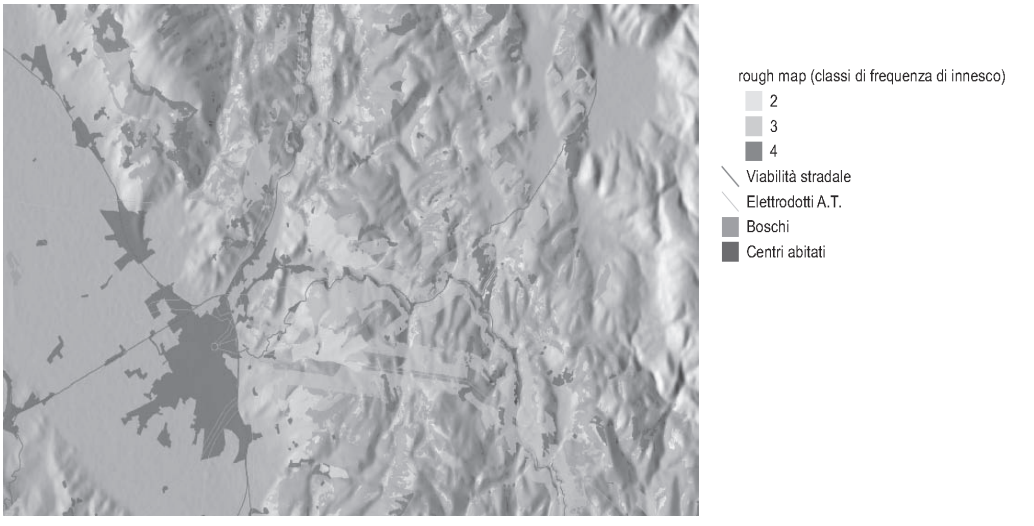


Figura 4 - Output grafico generato sulla base delle regole decisionali ottenute dalla rough set analysis

5. Conclusioni e sviluppi futuri

Il modulo *r.roughset* costituisce il primo passo di un programma di ricerca che ha l'obiettivo finale di integrare la teoria dei Dominance-based Rough Set Approach (DRSA) (Greco, Matarazzo, Slowinski, 2004) in software GIS quali, appunto, GRASS e QGIS. Il passaggio dalla teoria dei *rough sets* tradizionale a quella basata sulla dominanza comporta l'ampliamento del confine metodologico da quello del *data mining* a quello dell'analisi multicriterio, con la conseguente introduzione di un criterio di preferenza e, quindi, di ordinamento, altrimenti non gestibile con i *rough sets* tradizionali.

La fase successiva del lavoro comporterà l'arricchimento delle *Rough Set Library* (RSL) con gli algoritmi di DRSA e, quindi, la realizzazione del relativo modulo di GRASS di interfaccia applicativa.

Parallelamente al lavoro di analisi e sviluppo condotta in linguaggio C, è in fase di debugging l'accesso alle RSL da parte di *Python*, attraverso il modulo *ctypes*. In questo modo sarà possibile sfruttare appieno le potenzialità di un linguaggio moderno e orientato agli oggetti, quale è il *Python*, con la potenza del linguaggio C. Inoltre, moltissimi software GIS, sia Open Source (GRASS, QGIS, SAGA GIS, OpenEV, ecc.) che commerciali, stanno adottando il *Python* come linguaggio interno di *scripting*.

Al termine del percorso di ricerca, si disporrà del modulo *r.roughset* per l'applicazione dei rough sets a database geografici complessi, di un modulo analogo ma basato sulla DRSA (che applica in ambito geografico le tecniche di analisi multicriterio basate sui *rough sets*) e di un modulo in *Python* che consente di applicare tutte le funzioni delle RSL ad ogni ambiente GIS in grado di disporre di un interprete del "linguaggio del pitone".

Bibliografia

AA.VV. (2007), *Il modello di monitoraggio software UmbriaSUIT 1.0* Università degli Studi di Perugia, ARPA Umbria, Perugia.

Bellini A, Guidi A. (1994), *Guida al linguaggio C,* McGraw Hill.

Gawrys M., Sienkiewicz J. (1993), *Rough Set Library user's manual* . Institute of Computer Science, Warsaw University of Technology, Nowowiejska 15/19, 00-665 Warsaw, Poland.

Grass development team (2008), *Programmer's Manual* www.grass.itc.it**.**

Greco, S., Matarazzo, B., Slowinski, R. (1999), *The use of rough sets and fuzzy sets in MCDM***.** Chapter 14 [in]: T.Gal, T.Stewart, T.Hanne (eds.), *Advances in Multiple Criteria Decision Making*. Kluwer, pp. 14.1-14.59.

Greco, S., Matarazzo, B., Slowinski, R. (2004), *Dominance-Based Rough Set Approach to Knowledge Discovery (I) General Perspective*. Chapter 20 [in]: N.Zhong, J.Liu, *Intelligent Technologies for Information Analysis* Springer-Verlag, Berlin.

Larson M.**,** Shapiro M., Tweddale S. (1991), *Performing Map Calculations on GRASS Data: r.mapcalc Program Tutorial - U.S. Army Corps of Engineers* **-** Construction Engineering Research Laboratory - Environmental Division - Spatial Analysis Systems Team.

Markus N., Helena M. (2004), *Open source gis: a GRASS approach*. Kluwer Academic Publishers.

Obersteiner M., Wilk S. (1999), Determinants of Long-Term Economic Development. An Empirical Cross-country Study Involving Rough Sets Theory and Rule Induction, Transition Economics Series No. 11, Institute for Advanced Studies, Vienna.

Pawlak, Z. (1991), *Rough Sets. Theoretical Aspects of Reasoning about Data*. Kluwer Academic Publishers.

Pawlak Z. (1997), "Rough sets approach to knowledge - based decision support", in *European Journal of Operational Research*, n. 99.

Slowinski R. (a cura di) (1992), *Intelligent Decision Support, Handbook of applications and advances of the rough set theory*, Dordrecht, Kluwer.

LA CARTOGRAFIA DELLE UNITÀ DI COPERTURA DEL SUOLO DA DATI ASTER, DI UN SETTORE DEL PARCO NAZIONALE DEL SAGARMATHA (NEPAL)

Antonio BOGGIA (*), Fabrizio LUCANI (**), Maria Teresa MELIS (***)

(*) Università degli Studi di Perugia, Dipartimento di Scienze Economico-Estimative e degli Alimenti, S. Pietro, 06100 Perugia, tel. 0755857136, fax 0755856263, e-mail boggia@unipg.it
(**) Università degli Studi di Perugia, Dipartimento di Economia, Finanza e Statistica, Via Pascoli 20, 06100 Perugia, tel. 0755855246, fax 0755855299, e-mail evk2cnr@unipg.it
(**)Università degli Studi di Cagliari, Laboratorio TeleGIS, Dipartimento di Scienze della Terra, Via Trentino 51, 09127 Cagliari, tel. 0706767701, fax 070282236, e-mail telegis@unica.it

Riassunto

Lo studio, qui presentato, è di complemento ad un'indagine più ampia che ha come tema la "Ricerca, studio e valutazione degli impatti ambientali conseguenza dell'attività agricola, zootecnica e turistica nel parco nazionale del Sagarmatha (Everest, Nepal)", realizzata dal Dipartimento di Economia, Finanza e Statistica dell'Università degli Studi di Perugia, in collaborazione con il Comitato Ev- K2-CNR.
Nel dettaglio, al fine di affiancare convenientemente la parte economico ambientale a quella naturalistica, l'unità di ricerca ha ritenuto indispensabile procedere alla creazione di una base conoscitiva sulla copertura del suolo di un settore dell'area del parco, da utilizzare come mappatura delle unità di riferimento per le successive analisi multitemporali; l'aspetto, quindi, che ha guidato la scelta del sistema di classificazione, è stato quello di riferirsi a classi spettralmente riconoscibili e monitorabili, in un sistema di analisi multitemporale. I dati disponibili per quest'area e che attualmente costituiscono il punto di partenza per lo studio, sono stati le immagini del sensore ASTER acquisite il 23 ottobre 2003. Nell'ottobre del 2005 e nell'ottobre del 2006, sono state effettuate le campagne di verità a terra, utilizzando i dati telerilevati coerenti come stato delle coperture del suolo. Le immagini sono state interpretate, seguendo una metodologia di fotointerpretazione spettrale ampiamente testata in ambito europeo con il Progetto "CORINE Land Cover" e che è basata sulla costruzione di chiavi di interpretazione che guidano il fotointerprete verso una mappatura, la quale permette di individuare quelle unità di territorio successivamente utilizzabili in contesti di riconoscimento automatico delle classi e, quindi, anche di eventuali valutazioni dei cambiamenti (*change detection*). Sulla base di questa valutazione viene oggi proposta una carta delle unità di copertura del suolo con base ASTER ed avente un'accuratezza spaziale riconducibile alla scala cartografica 1:50.000.

Abstract

This study was carried out within the framework of the Ev-K²-CNR "Scientific and Technological Research in Himalaya and Karakorum" Project with support from the Ev-K²-CNR Committee and in collaboration with the Nepal Academy of Science and Technology (NAST) as foreseen by the Memorandum of Understanding between the Government of the State of Nepal and the Government of the Republic of Italy. The research conducted was also made possible thanks to contributions from the Italian National Research Council and the Italian Ministry of Foreign Affairs.

Introduzione

Obiettivo dichiarato della successiva analisi, è quello di identificare le variazioni di copertura del suolo di un settore del Parco del Sagarmatha, nel Nepal settentrionale, rilevabili mediante elaborazione di dati provenienti da *remote sensing* e riferibili, principalmente, agli interventi dell'uomo legati a sostanziali attività turistiche.
Per la comprensione delle variazioni di copertura del suolo si è proceduto alla mappatura di quelle unità ritenute importanti per la valutazione dei cambiamenti e riconducibili quindi principalmente a mutazioni di biomassa. L'aspetto forse più particolare di questa ricerca è stato quello di constatare l'assenza di dati cartografici su questa regione ed in particolare la mancanza di un riferimento tematico che permettesse di quantificare le reali coperture forestali e gli eventuali cambiamenti di destinazione d'uso del territorio (deforestazione, utilizzo per il pascolo, utilizzo agricolo, urbanizzazione). La cartografia topografica di riferimento è quella realizzata dal "Survey Department of His Majesty's Government of Nepal" in cooperazione con il Governo finlandese.

Questa cartografia è stata restituita da un rilievo aereo del 1992 e verificata sul campo nel 1996, è in scala 1:50.000 ed è riferita al sistema Everest- (o India-) 1830. Partendo da questi elementi si è ritenuto che la prima fase della ricerca dovesse essere quella di realizzare una base di riferimento tematica e si è scelto di elaborare le immagini telerilevate dal sensore ASTER, utilizzando principalmente i dati VNIR con 15 metri di risoluzione a terra.

La cartografia tematica di copertura del suolo nasce come strumento per l'analisi sulla natura degli oggetti che coprono la superficie terrestre. L'indagine viene svolta utilizzando basi informative quali le fotografie aeree, le immagini da satellite, la cartografia e le fonti bibliografiche disponibili. Il processo che porta alla definizione della carta tematica è di tipo interpretativo, ovvero di scelta di come convertire l'informazione presente sul supporto che si analizza in unità reale. Questo processo impone l'omissione di quei dati che non vengono ritenuti importanti e la focalizzazione del processo interpretativo verso quelle classi che meglio descrivono l'obiettivo del lavoro. Le immagini multispettrali, per loro natura contengono una vasta mole di dati e di informazioni da interpretare e la carta tematica di copertura del suolo deve quindi scegliere quali intervalli spettrali e quali indicatori costituiranno la base per l'interpretazione.

La metodologia CORINE Land Cover, che nasce con lo scopo di creare una banca dati tematica sulla copertura del suolo dell'intera Europa, ha posto un'estrema attenzione nella definizione delle chiavi di interpretazione, ovvero negli strumenti di conversione dello spazio spettrale in unità reale. Il principio di classificazione si basa sull'interpretazione visiva dell'immagine telerilevata e sull'attribuzione di ogni unità omogenea secondo le variabili definite (colore, tono, struttura, tessitura) ad una determinata classe di legenda. Questa classificazione si basa quindi su una legenda che, se pur rigida poiché predefinita, rappresenta peraltro un riferimento interpretativo, in quanto ogni classe, qualunque sia la sua localizzazione geografica, è definita da variabili spettrali e spaziali riconoscibili univocamente sulle immagini.

In questo studio si è ritenuto che l'utilizzo di questa metodologia fosse il più idoneo per procedere ad un'analisi di variazioni di copertura del suolo "controllate" ovvero riconducibili a variazioni spettrali.

1. Localizzazione geografica e descrizione dei paesaggi

Il Parco Nazionale del Sagarmatha, il più elevato del mondo, con un ambiente naturale di straordinaria grandiosità presente in un'area di circa 1200 Kmq, predisposta alla tutela dell'unicità della regione, della gente, delle sue montagne, della flora e della fauna, con l'intento di conciliare il turismo moderno con la cultura tradizionale Sherpa, è situato nel distretto del Solu-Khumbu, nella

regione nord-orientale del Nepal e venne ufficialmente istituito nel 1976, con uno statuto di rigorosa protezione e conservazione delle sue risorse naturali.
Il limite settentrionale del Parco segna il confine con la Regione Autonoma del Tibet in Cina e lungo lo spartiacque svetta la cima più alta del mondo, il Monte Everest (8.848 m. s.l.m.), conosciuto in Tibet come Chomolangma e per i nepalesi come Sagarmatha. Nel 2002 le regioni di Lukla, Pharak e Phakding a sud e fuori dal parco vennero dichiarate una "*buffer zone*" (Fig. 1).

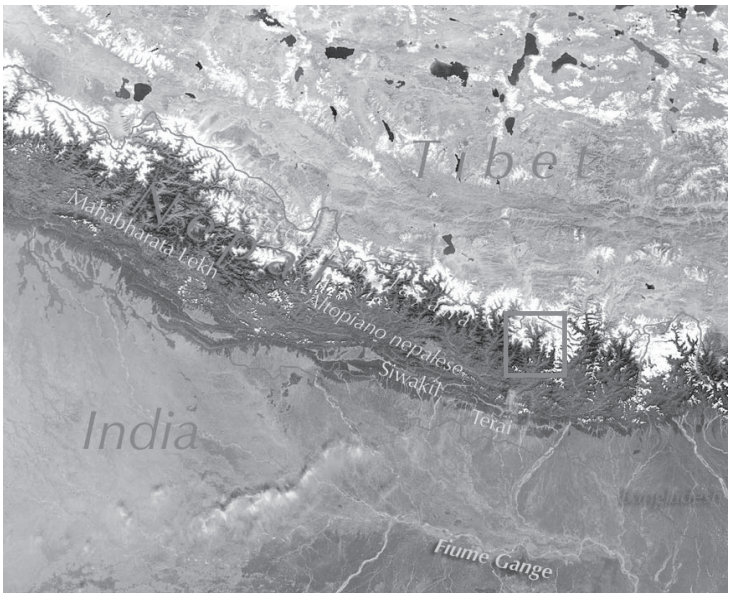


Fig.1 - Inquadramento geografico dell'area in studio.

La zonazione geomorfologica proposta in letteratura, che descrive il Nepal orientale sino al Tibet meridionale, fornisce una guida alla lettura del paesaggio in studio ed alla comprensione dei fenomeni morfologici e del contesto ambientale nel quale si devono comprendere le dinamiche di evoluzione. La piana del Gange è bordata dalle colline del Siwalik costituite da sedimenti miocenici sino a plio-pleistocenici. Queste colline sono caratterizzate da una fitta copertura vegetale e solo sulla sommità sono utilizzate dall'uomo per le coltivazioni; salendo di quota si va verso il Lesser Himalaya, costituito da una sequenza di metamorfiti di età pre-cambriche che hanno sovrascorso sui metasedimenti di basso grado, Higher Himalaya. Dal punto di vista altimetrico si tratta di paesaggi con quote che arrivano ai 3000 metri, caratterizzati da forti incisioni vallive su versanti ad acclività molto elevata con copertura vegetale ancora molto densa. Circa a questa quota, si trova il centro di Lukla che è la base di partenza per l'attraversamento della valle del Dudh Koshi, lungo la quale sono stati svolti i nostri rilevamenti.
La catena himalayana è un rilievo estremamente giovane e le forze che hanno generato il sollevamento sono attive. La deformazione del margine settentrionale della Placca indiana, come conseguenza della collisione con la Placca eurasiatica, è registrata nella storia tettono-metamorfica e magmatica del *Cristallino Higher Himalayan*. La Fig. 2 riporta una sezione geo-strutturale in cui sono rappresentate le formazioni che costituiscono l'unità metamorfica HHC (Higher Himalayan Crystallines: Barun Gneiss, i Namche Migmatite Orthogneiss, i Black Gneiss, la Formazione Rongphu e i Lhotse Schists) il sistema dei rilievi del Lesser Himalaya, le formazioni North Col, Mt Jolmo Lungma e Yellow Band e i plutoni granitici (R. Carosi et al., 1999).

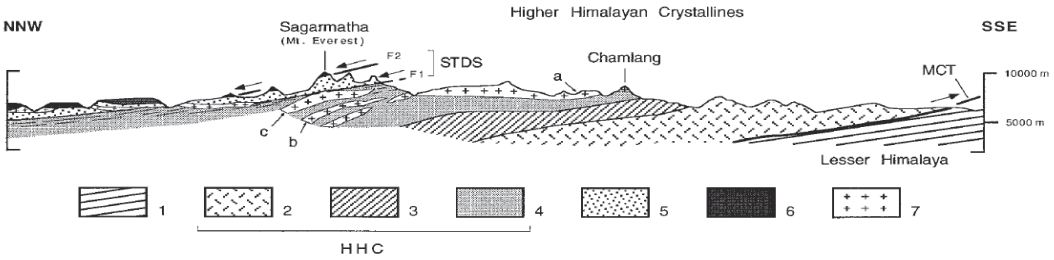


Fig.2 - Sezione geo-strutturale attraverso la catena dal Khumbu Himalaya al Tibet meridionale: 1. Lesser Himalaya; 2. Barun Gneiss; 3. Namche Migmatite Orthogneiss; 4. Black Gneiss, Formazione Rongphu e i Lhotse Schists; 5. Formazione North Col; 6. Formazione Mt Jolmo Lungma e Yellow Band; 7. plutoni: a. Tramserku, b. Baruntse, c. Nuptse; STDS: South Tibetan Detachment System. (da R. Carosi et al., 1999).

L'assetto strutturale del settore, legato ad eventi tettonici che hanno condizionato fortemente la dinamica morfologica, si può in generale ricondurre ad un sistema con incisioni principali orientate N-S e valli ortogonali i cui versanti presentano una netta esposizione verso nord e verso sud.
L'esposizione gioca un ruolo importante nella distribuzione delle specie vegetali, principalmente legata alle condizioni di umidità e quindi anche di evoluzione pedologica.. Le specie vegetali che crescono sui versanti esposti a sud, più secchi e alle quote comprese tra 3.600 e 4.030 metri sono rappresentate da cespugli di *Rhododendron lepidotum, Cotoneaster microphyllous, Juniperus recurva* e *indica e Berberis sp.* Associati a diversi tipi di specie erbacee. I versanti esposti a nord, più umidi accolgono vaste aree di foresta mista composta da specie di *Abies spectabilis*, *Betula utilis* e diverse specie di rododendri.. Localmente si trovano importanti associazioni ad *Acer caudatum*, *Sorbus microphyllus*, *Salix eriostachya* e *daltoniana*, *Arundinara sp*. e *Juniperus ricurva* (Byers, 2005).
Le morfologie aspre e l'acclività dei versanti hanno limitato fortemente lo sviluppo delle coltivazioni che sono limitate in lembi terrazzati e soggetti ad evidenti fenomeni di erosione del suolo anche favoriti dall'assenza di copertura boschiva. La dinamica morfologica è estremamente attiva ed evidente nelle giovani forme e nei fenomeni di instabilità dei versanti che generano anche importanti fenomeni franosi.

2. I flussi turistici nel Parco del Sagarmatha

Quanto alle presenze di visitatori nell'area parco, nel 1964 risultano registrati un totale di 20 unità. Nella stagione autunno-primavera del 1972/'73, sono presenti 3.200 visitatori. (Mishra, 1973). Nella stagione 1977/'78, un'incompleta registrazione ha mostrato perlomeno 3.850 trekkers. Nel 1981, questo dato è salito a 5.836. Le presenze sono aumentate a 9.900 nel 1986 ed a 11.366 nel 1988, con un incremento del 37 per cento. Un picco di 16.000 fu raggiunto nel 1993/94 (Banskota and Sharma, 1998). Riassumendo, la presenza turistica nella valle è cresciuta praticamente dallo zero del 1964 ai 3.200 visitatori nel 1972-73. Da allora, il numero degli escursionisti è aumentato di oltre l'82 per cento fino al 1981, per arrivare ad uno stupefacente 174 per cento tra il 1981 e il 1994. Oggi, in media, più di 20.000 turisti visitano il parco ogni anno. I turisti del Khumbu sono assai eterogenei; la loro età varia da meno di un anno a più di 80 e provengono da ogni paese del mondo. Dai dati consultati presso il centro visite del parco, risulta che i più numerosi sono gli statunitensi, seguiti dai giapponesi e dagli europei. Gli indiani, pur essendo fra i più assidui frequentatori del Nepal, rappresentano una piccola percentuale dei trekkers del Parco del Sagarmatha (Mishra, 1973; Pawsan,

1984). Il trekking nel Khumbu è fortemente stagionale in conseguenza delle piogge monsoniche che insistono sull'intero arco himalayano ed impediscono i viaggi aerei interni; di conseguenza, sono scarse le presenze turistiche in estate. Da ottobre a dicembre il tempo è migliore e spesso relativamente dolce; i trekkers, interessati ad ammirare e affrontare le montagne più alte della terra, si trovano quindi nella condizione ideale. Il secondo periodo consigliato va da marzo alla prima metà di maggio, quando inizia una fase pre-monsonica di grande instabilità. La stagionalità di questo turismo provoca due conseguenze per l'ambiente: la prima, positiva, riguarda il sistema ecologico complessivo che può "rigenerarsi" dall'enorme pressione antropica subita nei mesi turistici di punta; la seconda è che, al contrario, un pronunciato afflusso turistico racchiuso in pochi mesi e non scaglionato in tutto l'arco dell'anno, ha sicuramente un altrettanto notevole impatto ma, questa volta, negativo. Si è quindi ritenuto opportuno approfondire questa problematica; la nostra indagine ha impiegato i dati desunti dal telerilevamento satellitare, incrociati con quelli ricavati direttamente sul posto, per iniziare una verifica dell'impatto complessivo che il turismo determina in questa regione fisica.

3. Dati utilizzati

Come detto sopra, il Nepal ha un clima monsonico tropicale e l'anno è diviso in due stagioni: la stagione secca (ottobre-marzo) e la stagione umida o dei monsoni (giugno-settembre). Per questo motivo sono state cercate e risultano molto ben definite dal punto di vista radiometrico, le immagini acquisite nell'ottobre/novembre di diversi anni. La metodologia applicata ha previsto la scelta dei punti di interesse per la costruzione delle chiavi di interpretazione da svolgersi durante la campagna; il rilevamento prevede la verifica puntuale della risposta spettrale secondo transetti scelti nelle immagini e l'acquisizione di informazioni tematiche di tipo fisiografico, che vengono integrate da fotografie orientate e che costituiscono la banca dati sulla quale elaborare le interpretazioni.
In particolare, si intende capire quali indicatori naturali potranno essere inseriti in un sistema di monitoraggio che valuti la effettiva risposta in termini di resistenza dell'ambiente sul quale insiste la forte pressione antropica. Questi impatti, difficilmente osservabili come singoli episodi in un sistema da satellite, hanno prodotto variazioni di uso del suolo e conseguentemente di copertura vegetale, che un'analisi multitemporale può però mettere bene in evidenza. Si tratta quindi di trovare la chiave di lettura delle informazioni tematiche che sono state raccolte e che dovranno essere organizzate per proporre l'interpretazione.
I dati, disponibili per quest'area e che attualmente costituiscono un punto di partenza per lo studio, sono stati le immagini del sensore ASTER acquisite il 23 ottobre 2003. Ottobre 2005 ed ottobre 2006, sono, invece, i due periodi temporali in cui i ricercatori hanno confrontato sul posto i dati telerilevati coerenti con lo stato vegetativo delle coperture del suolo.

4. Metodologia per il rilevamento e la creazione delle chiavi di interpretazione

Il rilevamento sul terreno per la mappatura delle classi di copertura del suolo attraverso l'analisi di dati telerilevati, si è svolto nel settore meridionale del Parco del Sagarmatha, lungo la valle che da Lukla sale verso Namche e che da qui si apre verso i ghiacciai del Khumbu. Il lavoro riporta una prima fase di analisi del territorio per una valutazione dei cambiamenti di uso/copertura del suolo avvenuti negli ultimi dieci anni ed evidenziati mediante l'elaborazione di immagini multitemporali e multispettrali da satellite, integrate da due campagne sul terreno per una prima validazione.

Il processo di classificazione si basa su fotointerpretazione di immagini da satellite e, solamente per un numero molto ristretto di classi, l'individuazione deve essere svolta con l'ausilio di dati ancillari quali foto aeree e cartografia tematica.

La creazione delle chiavi di interpretazione, ossia della codifica in senso spettrale delle classi di legenda, è il passo più complesso e più importante; lo scopo della definizione delle chiavi di interpretazione è quello di creare un sistema di riconoscimento che colleghi le unità di copertura del suolo alla definizione spettrale delle stesse nelle combinazioni create per l'interpretazione.
La finalità di questo processo è la creazione di un sistema di regole per cui sia possibile capire ed utilizzare la classificazione, anche come base di riferimento per l'analisi di altri dati.
L'interpretazione dell'immagine ASTER nella combinazione 321, con 15 metri di risoluzione a terra, ha permesso la redazione del livello *copertura del suolo*. Il processo di fotointerpretazione ha utilizzato i dati raccolti durante la campagna di verità a terra ed in particolare sono stati creati i due livelli:

- *percorsi di rilevamento e punti di acquisizione*
- *fotografie orientate*

Le fotografie possiedono quindi le informazioni sul punto di acquisizione, espresso in coordinate e sull'orientazione del punto di vista rispetto al nord. Sono pertanto collegate geograficamente al database. E' interessante notare che diversi studi svolti precedentemente sul tema dell'impatto turistico sulla deforestazione nella regione del Sagarmatha, si siano ampiamente basate su osservazioni di cambiamenti evidenti su fotografie riprese in momenti diversi. Esistendo quindi una notevole mole di questi dati è importante poterli utilizzare se inseriti in un database georiferito.

5. Legenda

La scelta delle classi di legenda risponde parzialmente all'esigenza di capire quali influenze le attività turistiche abbiano avuto sull'habitat e quali modificazioni possano essere rilevate dai sensori utilizzati. Dal punto di vista metodologico è stata scelta la classificazione del CORINE Land Cover, che nasce come prodotto di foto-interpretazione di dati multispettrali e che ha permesso di definire, durante le sue prime fasi di lavoro e di aggiornamento, le chiavi di interpretazione per la creazione delle classi di legenda (Tab. 1). L'utilizzo dei dati del sensore ASTER, aumenta le capacità radiometriche per l'applicazione di algoritmi di classificazione delle coperture del suolo, anche in funzione di una risoluzione al suolo di 15 metri nel set di bande del VIR.

1. TERRITORI ARTIFICIALI	*1.1 Aree urbane*	1.1.2 Tessuto urbano discontinuo
2. TERRITORI AGRICOLI	*2.4 Zone agricole eterogenee*	2.4.2 Sistemi particellari complessi 2.4.3 Aree principalmente occupate dall'agricoltura, con presenza di vegetazione naturale
3. TERRITORI BOSCATI E AMBIENTI SEMI-NATURALI	*3.1 Zone boscate* *3.2 Zone caratterizzate da vegetazione arbustiva e/o erbacea* *3.3 Spazi aperti senza o con poca vegetazione*	3.1.2 Boschi di conifere 3.1.3 Boschi misti 3.2.1 Praterie e pascoli naturali 3.2.2 Cespuglieti 3.2.4 Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in mutazione 3.3.2 Rocce nude 3.3.3 Aree con vegetazione rada 3.3.5 Ghiacciai e nevi perenni
5. CORPI IDRICI	*5.1 Acque continentali*	5.1.1 Corsi d'acqua 5.1.2 Bacini d'acqua

Tabella 1 – Classi di legenda secondo lo schema CORINE Land Cover.

La procedura di interpretazione ha portato alla classificazione delle classi di copertura del suolo, riferite, come detto, alla struttura di legenda CORINE, con un'accuratezza basata sull'uso delle chiavi di interpretazione e quindi delle verità a terra rilevate durante la campagna.
Di seguito, si riportano alcune chiavi di lettura delle immagini utilizzate per la redazione delle unità di copertura del suolo.

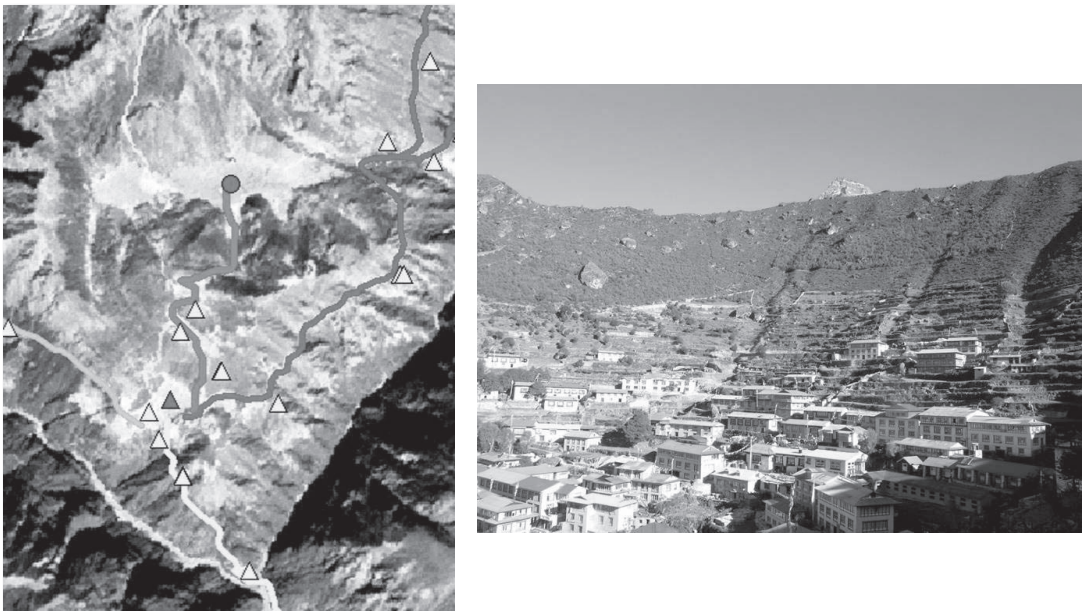


Fig. 3. L'abitato di Namche: a sinistra il triangolo grigio nell'immagine ASTER e a destra in una fotografia panoramica. (Foto Melis)

6. Classificazione *supervised* secondo la definizione di *training site* definiti anche sulla base delle osservazioni di campagna

Il classificatore utilizzato in questa fase dello studio è stato il SAM, poiché uno dei principali problemi incontrati per il riconoscimento anche visuale delle differenti coperture del suolo, è stato l'illuminazione dei versanti. La morfologia aspra e le forti variazioni altimetriche, anche in pochi chilometri, condizionano fortemente la risposta spettrale degli oggetti, imponendo di seguire, versante per versante, le coperture, applicando le funzioni di *enhancement* in modo pressochè locale. Una delle caratteristiche del classificatore SAM è proprio quella di basarsi invece su condizioni indipendenti dall'angolo di illuminazione e quindi da valori maggiori e/o minori di riflettanza.
Se si considera il diagramma di dispersione (*scatterplot*) delle *n* bande utilizzate nella classificazione, gli spettri dei pixel e degli oggetti (target) verranno rappresentati come punti. Se si disegna un vettore dall'origine verso ogni punto, l'angolo formato da due vettori costituisce l'angolo spettrale (*spectral angle*) tra quei due punti. La SAM calcola l'angolo spettrale tra ogni spettro dei pixel ed ogni spettro target. Minore è l'angolo spettrale e più simili sono gli spettri dei pixel e del target. Questo angolo sarà relativamente insensibile ai cambiamenti di illuminazione dei pixel, poiché aumentando o diminuendo l'illuminazione non cambia la direzione del vettore, solamente la sua lunghezza (cioè un pixel più scuro sarà *plottato* lungo lo stesso vettore ma si fermerà più vicino all'origine). Nelle applicazioni di questa classificazione l'algoritmo determina la

similarità spettrale tra due spettri, calcolando l'angolo di cui si è parlato nello spazio con dimensionalità uguale al numero di bande utilizzate.
Gli spettri che si sono utilizzati in questo lavoro sono stati estratti direttamente dalle immagini ASTER nelle stesse bande sulle quali si è svolta la fotointerpretazione. Il risultato è estremamente interessante anche se alcune classi, come già appare nei valori di separabilità tra i training set, devono probabilmente essere ancora meglio definite nello spazio spettrale. Di seguito, si riportano alcuni valori di separabilità per le classi più problematiche:

agricolo [Blue] 380 points:
urbano [Red] 3820 points: (1.99639212 2.00000000)
conifere [Green] 392 points: (1.91203045 1.99853682)
alveo [Yellow] 53 points: (1.91939846 2.00000000)
bosco misto [Cyan] 314 points: (1.49958322 1.59162710)
arbustivo rado [Magenta] 458 points: (1.44604553 1.82546407)
roccia [Maroon] 359 points: (1.65222925 1.99898124)
laghi [Sea Green] 498 points: (2.00000000 2.00000000)
ghiaccio [Purple] 679 points: (1.98276794 2.00000000)

ghiaccio [Purple] 679 points:
urbano [Red] 3820 points: (1.96588756 2.00000000)
conifere [Green] 392 points: (1.99896036 2.00000000)
agricolo [Blue] 380 points: (1.98276794 2.00000000)
alveo [Yellow] 53 points: (1.54235390 2.00000000)
bosco misto [Cyan] 314 points: (1.99880759 2.00000000)
arbustivo rado [Magenta] 458 points: (1.94873755 2.00000000)
roccia [Maroon] 359 points: (1.81277841 2.00000000)
laghi [Sea Green] 498 points: (1.98876886 2.00000000)

Questa fase ha consentito di creare un set di dati da proporre come base di riferimento per le valutazioni successive in fase di creazione del Sistema Informativo Geografico per le valutazioni dei cambiamenti.

Conclusioni

La cartografia che si presenta qui, per la prima volta, utilizza come base l'immagine ASTER, che risulta essere la più idonea, sia durante le fasi di foto-interpretazione in campagna, che per una prima classificazione di tipo automatico. Viene inoltre testata ulteriormente la classificazione CORINE Land Cover come standard di interpretazione spettrale con sensori diversi.
Come affermato in precedenti lavori da alcuni Autori, non esiste un metodo a priori per la mappatura delle unità di copertura del suolo e per le valutazioni dei cambiamenti. In questo lavoro è stato presentato un percorso metodologico sperimentale, che parte dalla creazione delle chiavi di interpretazione dell'immagine ASTER per creare il piano informativo sulla copertura del suolo necessario per la applicazione dei metodi di analisi numerica.

Bibliografia essenziale

Carosi R.,, Lombardo B., Musumeci G., Pertusati P.C. (2003) - Geology of the Higher Himalayan Crystallines in Khumbu Himalaya(Eastern Nepal). *The Geographical Journal*, Vol.169, No. 3, September 2003, pp. 255–277

Luciani F., Melis M.T. (2005), L'uso del telerilevamento satellitare per una corretta analisi degli impatti ambientali del turismo, nel Parco nazionale del Sagarmatha (Nepal), Atti 9° Conferenza ASITA, Catania.

LUCIANI F., MELIS M.T. (2006) - Prima analisi degli impatti ambientali causati dall'antropizzazione del Parco nazionale del Sagarmatha (Everest), attraverso il telerilevamento satellitare. Atti 10° Conferenza nazionale ASITA, Bolzano 14-17 novembre 2006. pp 1447-1452.

Stevens S.(1999) Tourism and deforestation in the Mt Everest regionof Nepal. Journal of Asian Earth Sciences 17 (1999) 785±803.

LA BANCA DATI GEOGRAFICA DELLE AREE DISMESSE DELLE PROVINCE DI MILANO, LODI, MONZA E BRIANZA NEL QUADRO DEL SIT DI REGIONE LOMBARDIA

Cecilia BOLOGNESI (*), Francesca PATRIARCA (**), Giovanni PROCACCI (*), Dario SCIUNNACH (**)

(*) e-Mapping, Assimpredil-ANCE, Via S. Maurilio 21, 20123 Milano – e-mail: mapping@assimpredilance.it
(**) Regione Lombardia, Direzione Generale Territorio e Urbanistica – Via Sassetti 32/2, 20124 Milano
e-mail: sitpianificazione@regione.lombardia.it

Riassunto

Un recente accordo operativo tra Regione Lombardia e Assimpredil ANCE ha prodotto una banca dati geografica delle aree dismesse rilevate sul territorio di tre province lombarde, tra cui Milano. La banca dati rappresenta uno strumento di gestione di informazioni geografiche essenziali per il governo del territorio e sarà aggiornata nel quadro delle attività di revisione periodica degli strumenti urbanistici svolte dai comuni lombardi.

Abstract

A recent operational protocol signed by Regione Lombardia and Assimpredil ANCE resulted in a brownfield geographic database for the territory of three Lombardian provinces, including Milan. The database represents an essential management tool for geographic information to be employed in land and urban planning. It will be updated in the framework of the periodical revisions of urban plans carried out at the local level.

Introduzione

La riqualificazione delle aree dismesse è uno dei campi d'azione che la Legge di Governo del Territorio della Regione Lombardia (Legge Regionale 11 marzo 2005, n. 12 e successive modificazioni e integrazioni) individua per contenere il consumo di suolo. La rilevanza attribuita all'argomento è tale che nell'ultima versione del testo di legge, così modificato dalla Legge Regionale 14 marzo 2008, n. 4, il recupero delle aree degradate o dismesse è inserito al terzo comma dell'art. 1, tra i principi ispiratori della legge.
L'attenzione riservata alle aree dismesse si deve al fatto che gli insediamenti urbani continuano ad essere interessati da processi di abbandono delle aree produttive, soprattutto industriali, che si rendono disponibili per nuove destinazioni d'uso senza occupazione di ulteriore superficie. Anche al di fuori delle aree urbane, la dismissione produttiva è un fenomeno che interessa l'edilizia rurale creando, almeno in alcune province lombarde, interessanti opportunità di riqualificazione in chiave residenziale.
Le aree dismesse, per la maggior parte in stato di degrado paesistico-ambientale e spesso interessate da contaminazione potenziale o reale (Fig. 1), possono presentare caratteri storico-architettonici di pregio (es. cascine, elementi di archeologia industriale; Fig. 2), che in taluni casi trovano qualche speranza di preservazione proprio grazie alla prospettiva di una riqualificazione complessiva. Altre volte, le aree dismesse sono da assumersi come potenziali aree di sviluppo strategico per settori urbani ormai inclusi all'interno del tessuto consolidato della città (Figg. 2-3).









Figura 1 (in alto a sinistra) – Area industriale dismessa in Comune di Milano. I fabbricati appaiono privi di connotati architettonici di rilievo, il grado di contaminazione del terreno deve essere oggetto di accertamenti specifici.

Figura 2 (in alto a destra) – Ex-Consorzio Agrario di Corbetta (MI). L'edificio, ormai incorporato nel tessuto urbano consolidato, è stato realizzato con una chiara connotazione architettonica ("stile littorio") per la quale è opportuno prevedere azioni di tutela.

Figura 3 (in basso a sinistra) – Comune di Abbiategrasso (MI). L'adiacenza di un vasto complesso industriale dismesso con edifici di pregio architettonico impone un ridisegno locale del tessuto urbano consolidato.

Figura 4 (in basso a destra) – Area agricola dismessa, San Vito di Gaggiano (MI). L'area, parzialmente coperta da edifici privi di connotazioni architettoniche significative, può essere ripristinata all'uso originario o riqualificata a nuova destinazione residenziale.

Metodi di lavoro

Qualunque intervento sul fenomeno della dismissione deve essere subordinato alla conoscenza del luogo, che si realizza attraverso un percorso di identificazione, localizzazione, perimetrazione e caratterizzazione delle aree.
Un primo passaggio ineludibile, dal punto di vista metodologico, riguarda la condivisione di una definizione di area dismessa. Un riferimento autorevole è venuto dall'art. 7 della Legge Regionale 2 febbraio 2007, n. 1 ("Strumenti di competitività per le imprese e per il territorio della Lombardia"), dove si definisce area industriale dismessa una porzione di territorio coperta da edifici per almeno 2000 m^2, dove la condizione dismissiva interessi ininterrottamente, da almeno quattro anni, almeno il 50% della suddetta superficie coperta.

cod_campo	*definizione*	*regole di compilazione*
Id	identificativo area dismessa	[da 1 a N]
nom_com	nome comune dove è inserita l'area dismessa	[ex: milano]
cod_istat	codice istat identificativo del comune	[XXXXX]
prov	nome della provincia	[MI o LO o MB]
denom	toponimo della localizzazione	[ex: via dante 8]
tip	tipologia attività dismessa	1:agricolo/zootecnico 2:industriale/artigianale 3:residenziale 4:turistico/ricettivo 5:terziario/servizi 6:infrastrutture/mobilità 7:commerciale 8:imp. tecnologici 9:ed. pubblici/demaniali 10:altro --- indicare E esclusiva P prevalente S subordinata
sup_fon	superficie fondiaria indicativa	espressa in m^2
slp	superficie complessiva degli immobili	espressa in m^2
dest_urb	destinazione urbanistica	indicare 1:residenza 2:produttivo 3:commerciale/direzionale 4:polifunzionale 5:turistico ricettivo 6:servizi comunali 7:servizi sovracomunali 8:infrastrutture trasporto 9:agricolo
map	mappale catastale	indicare il numero del mappale catastale
fog	foglio catastale	indicare il numero del foglio catastale
str_urb	strumento urbanistico	indicare se "PRG VIGENTE" / "PRG ADOTTATO" / "PGT"
pian_pro	eventuali piani o progetti di riqualificazione	indicare se "PREVISTI" / "ADOTTATI" / "APPROVATI"
inc	incentivi per il recupero	indicare se sono presenti incentivi per il recupero ["SI" / "NO"]
car_pro	caratteristiche della proprietà	PU:pubblica / PR:PRIVATA / M:MISTA _ U:UNICA / TE:PREVALENTE / FR:FRAZIONATA [ex: PR_U / PU_TE]
num_pro	numero di proprietari	indicare il numero di proprietari
ann_dis	anno della dismissione	indicare l'anno della dismissione
mot_dis	motivo della dismissione	indicare il motivo della dismissione. FA:FALLIMENTO / RI: RILOCALIZZAZIONE / AL: ALTRO (indicare)
post_dis	eventuale utilizzo post-dismissione	indicare OA:OCCUPAZIONE ABUSIVA / MA:MAGAZZINO / NE:NESSUNO / AL:ALTRO (indicare)
gra_dis	grado di dismissione	indicare il grado della dismissione. se 100 = completamente dismessa

dati identificativi

Figura 5 (questa pagina e la seguente) – Descrizione dei valori dei campi della banca dati alfanumerica elaborata dal Gruppo di Lavoro Regione Lombardia – Assimpredil ANCE.

coll	collocazione rispetto al centro urbano	indicare: CE:CENTRALE / PE:PERIFERICO / EX:EXTRAURBANO
car_tess	caratteristiche del tessuto	indicare: AI:AREA ISOLATA / AR:AREA IN ZONA RESIDENZIALE / AIA:AREA INDUSTRIALE ARTIGIANALE / AM:AREA IN ZONA MISTA
vinc	presenza di vincoli	indicare: 1:nessun vincolo 2:fascia di rispetto fluviale 3:vincolo paesistico/ ambientale 4:PLIS 5:riserve 6:altro (indicare)
dis_ferr	accessibilità ferroviaria	distanza in km dalla stazione ferrov. più vicina
dis_aer	accessibilità da aeroporto	distanza in km dall'aeroporto più vicino
dis_cas	accessibilità autostradale	distanza in km dal casello più vicino
dis_prov	accessibilità da strada provinciale	distanza in km dal raccordo più vicino
dis_stat	accessibilità da strada statale	distanza in km dal raccordo più vicino
dis_idr	accessibilità da idrovie	distanza in km dall'approdo più vicino
dis_dir	accesso diretto	indicare se posizionata su: ST:STRADA STATALE / SP:STRADA PROVINCIALE / SC:STRADA COMUNALE / SR:STRADA

contesto territoriale

num_corp	numero dei corpi edilizi principali	[da 1 a N]
tip_corp	tipologia degli edifici	indicare se: IU:ISOLATO URBANO / BL:BLOCCHI LIBERI / AL:ALTRO (indicare)
pres_corp	presenza di più corpi	indicare se sono presenti più corpi edilizi
carr_edi	caratteristiche edilizie	per ogni corpo indicare il numero di piani e la tipologia costruttiva prevalente. PR:prefabbricato / TP:travi e pilastri in muratori / MU:muratura continua e portante / SL:struttura lignea / SM:struttura mista
anno_orig	anno di origine	anno di costruzione dell'edificio originario
anno_prev	anno prevalente	anno prevalente di costruzione degli edifici
ristr	ristrutturazione	data eventuale dell'ultima ristrutturazione
stato	stato di conservazione degli immobili	indicare se CP:CATTIVO PERICOLANTE / CN:CATTIVO NON PERICOLANTE / ME:MEDIOCRE / BU:BUONO _ percentuale [ex. ME_70]
val_arch	valore architettonico	indicare se AS:risultante da atti specifici / SC:stimato dal compilatore / CI:edifici con più di 50 anni di età
doc_fot	documentazione fotografica	indicare se presente documentazione

volumi edificati

cont	area di documentata contaminazione	indicare se l'area è contaminata
carat_sit	caratteristica del sito	indicare: 1:sito potenzialmente contaminato 2:sito da indagare 3:pericolo contaminazione 4:sito contaminato 5:bonif. per uso ind/ comm. 6:bonif. per uso verde/res. 7:sito con messa in sicurezza permanente 8:bonif. misure sicurezza

dati ambientali sullo stato di contaminazione e/o

Una banca dati geografica delle aree dismesse delle Province di Milano, Lodi, Monza e Brianza è stata realizzata attraverso la collaborazione tra l'unità "e-Mapping" di Assimpredil-ANCE e Regione Lombardia. In una fase preliminare all'avvio dell'indagine vera e propria, un Gruppo di Lavoro dedicato ha elaborato una scheda standard di censimento, dalla quale sono stati ricavati i 45 campi alfanumerici della banca dati. I campi comprendono identificativi spaziali e catastali, dati di contesto territoriale (comprese informazioni sull'accessibilità e prossimità alle infrastrutture di trasporto), dati descrittivi sugli edifici (consistenza volumetrica e tipologia costruttiva, stato di conservazione, valore architettonico) e informazioni sull'eventuale stato di contaminazione e/o bonifica (Fig. 5). Il Gruppo di Lavoro ha anche ampliato la definizione di area dismessa ex L.R. 1/2007, assimilando le aree a destinazione produttiva di tipo artigianale alle aree industriali, e innalzando la soglia minima di superficie coperta a 5000 m^2 per tutte le destinazioni non produttive.
All'interno della banca dati geografica, ogni record corrisponde ad un sito dismesso. I siti sono stati individuati e caratterizzati mediante contatti tra una squadra di rilevatori dedicata, afferente all'unità "e-Mapping", e gli uffici tecnici comunali. Dal punto di vista geometrico, ciascun sito è rappresentato da un poligono, corrispondente alla superficie territoriale complessiva, in un progetto GIS su piattaforma ESRI.
Non è prevista una perimetrazione di dettaglio sui singoli edifici all'interno dell'area dismessa, dato che questi potrebbero essere destinati a demolizione. Ciascun poligono può essere collegato a riprese fotografiche al suolo, mentre sono allo studio i criteri per estrarre dalla banca dati un *subset* di informazioni, di maggiore interesse per il potenziale utente generico, da presentare con schede di sintesi generate in modalità report a partire dal singolo poligono.

Consistenza e aggiornamento della banca dati

Alla data di stesura del presente articolo (settembre 2008) la banca dati comprende 139 record rilevati su 83 comuni delle Province di Milano, Lodi, Monza e Brianza. Il numero totale di comuni interessati dall'indagine è stato di 250, dei quali 155 risultano privi di aree dismesse, mentre su 12 comuni il censimento è tuttora in corso.
I dati censiti afferiscono al Sistema Informativo Territoriale (SIT) della Pianificazione Locale di Regione Lombardia (Laffi et al., questo volume). Il SIT per la Pianificazione Locale è alimentato da regione e province per quanto riguarda il Repertorio dell'Informazione Territoriale (di seguito Repertorio), dai comuni per quanto riguarda i dati relativi alla pianificazione comunale contenuti nel Piano di Governo del Territorio (PGT). Tali dati comprendono:

- informazioni sugli atti amministrativi (incluse le pubblicazioni a mezzo stampa) che hanno accompagnato l'*iter* del PGT e il collegato percorso di VAS: vanno implementate in apposite maschere alfanumeriche dell'Archivio Documentale (di seguito Archivio);
- file di scambio (relazioni, norme e studi in formato testuale; cartografia di Piano) che compongono il PGT e che vengono allegate nell'area di *upload* del medesimo Archivio;
- *shapefile* relativi ai temi che compongono la Tavola delle Previsioni di Piano (sintesi informativa del PGT), che vanno a popolare un apposito visualizzatore webGIS (Fig. 6).

I poligoni corrispondenti alle aree dismesse comprese nella banca dati confluiscono nel tema "Aree a rischio di compromissione e di degrado", reso disponibile ai comuni che si accingono alla redazione del PGT attraverso il Repertorio.
I comuni acquisiscono lo *shapefile* in *download*, lo aggiornano se necessario intervenendo sulla perimetrazione delle geometrie o sugli attributi alfanumerici, e lo restituiscono come tema costitutivo della Tavola delle Previsioni di Piano. La cadenza di aggiornamento minima della Tavola è stabilita dalla durata quinquennale del Documento di Piano, uno degli atti costitutivi del PGT, peraltro modificabile in qualsiasi momento.

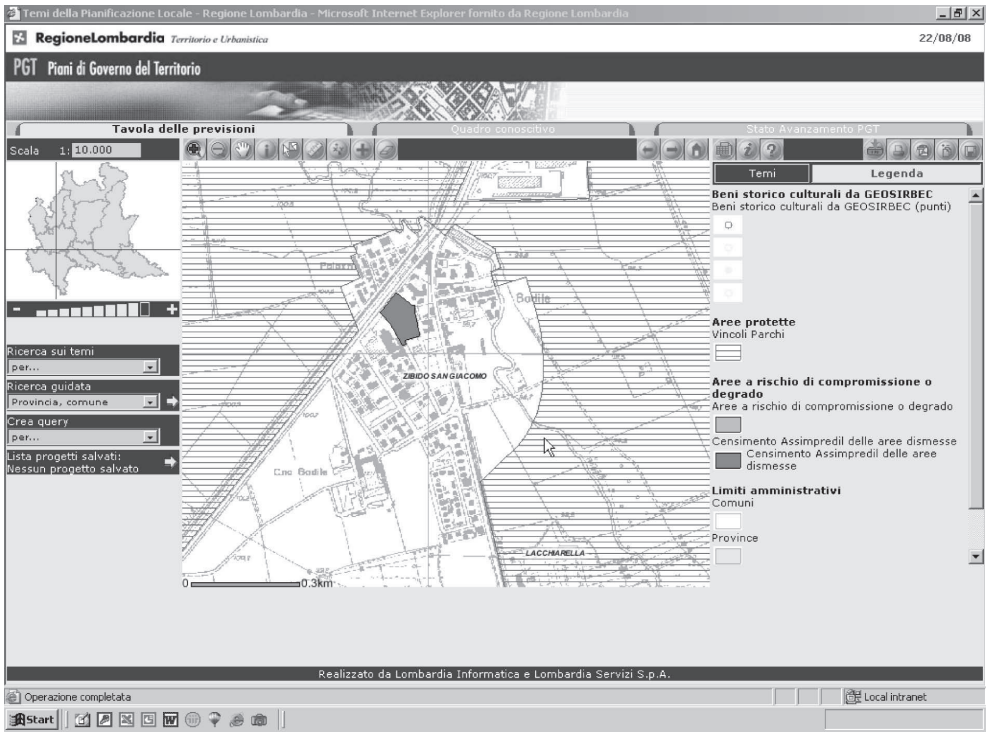


Figura 6 – Visualizzatore webGIS dei temi della Tavola delle Previsioni di Piano (Comune di Zibido San Giacomo, MI).

Considerazioni conclusive

L'esperienza in corso rappresenta un passo significativo verso un'efficace collaborazione pubblico-privato nella gestione dell'informazione geografica. Assimpredil ANCE è stato il primo soggetto di diritto privato a sottoscrivere un Accordo di Partecipazione all'Infrastruttura per l'Informazione Territoriale lombarda. L'attività descritta nel presente articolo ha avuto luogo nell'ambito dei compiti istituzionali di ciascuna delle due parti, senza oneri espliciti a carico di una delle due.
La gestione e lo scambio dei dati sono stati facilitati dalla condivisione di una piattaforma ESRI, ma l'uso dello *shapefile* come formato dati permetterà di estendere l'attività ad altri soggetti, operanti sulle rimanenti nove province lombarde, anche qualora questi dovessero adottare differenti software GIS.

Riferimenti bibliografici

Laffi R., Barosi S., Sciunnach D., Gelmi S. (questo volume). Il Sistema Informativo Territoriale della Pianificazione Locale in Regione Lombardia.

AA. VV., Dedalo n° 7 edizione speciale maggio, giugno 2008, edito da AIE Servizi SRL per Assimpredil Ance